VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

КЛАССИКИ НАУКИ



К. К. ГЕДРОЙЦ

ИЗБРАННЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ

статья, редакция и комментарии
доктора сельскохозяйственных наук
профессора А. А. РОДЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1975

УДК 631. 4

СЕРИЯ «КЛАССИКИ НАУКИ»

Серия основана академиком *С. И. Вавиловым*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

академик *И. Г. Петровский*, академик *А. А. Имшенецкий*,
академик *Б. А. Казанский*, академик *Б. М. Кедров*,
член-корреспондент АН СССР *Б. Н. Делоне*, профессор *Ф. А. Петровский*,
профессор *Л. С. Полак*, профессор *Н. А. Фигуровский*,
профессор *И. И. Шафрановский*

Составитель *Н. И. Белякова*

К. К. Гедройц. **Избранные труды.** «Наука», 1975 г.

В настоящий том вошли все важнейшие работы академика К. К. Гедройца в области почвоведения, начиная с опубликованной в 1906 г. статьи «К вопросу об изменяемости концентрации почвенного раствора и содержания в почве легко растворимых соединений в зависимости от внешних условий», в которой и были сформулированы в краткой форме проблемы почвоведения, разрабатываемые им в дальнейшем.

В следующих работах, входящих в том, раскрывается постепенное развитие главного направления исследований К. К. Гедройца — разработки основ коллоидной химии почв, явившихся ключом к пониманию внутренней сущности процессов почвообразования в целом. В том включены и обобщающие труды: «Учение о поглотительной способности почв» и «Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации».

Все работы К. К. Гедройца в настоящем издании воспроизведены по первоисточникам.

Г $\frac{40304-070}{055(02)-75}$ 977-74

© Издательство «Наука», 1975 г.

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕНЯЕМОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА И СОДЕРЖАНИЯ В ПОЧВЕ ЛЕГКО РАСТВОРИМЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ [1]

I. ПОЧВЕННЫЙ РАСТВОР КАК ОДНА ИЗ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ СЛОЖНОЙ НЕОДНОРОДНОЙ СИСТЕМЫ

Изучение почвенных растворов ввиду той первенствующей роли, которую они играют в почвообразовании и жизни растений, имеет громадное значение. Для того чтобы подвинуться в разрешении многих как теоретических, так и чисто практических вопросов агрономии в самом широком смысле этого слова, необходимо так или иначе подойти к разрешению вопроса о почвенном растворе, необходимо изучить состав раствора и изменяемость его во времени в зависимости от изменений внешних условий; без всякого преувеличения можно сказать, что от степени разрешения этого вопроса зависят дальнейшие успехи агрономии. Если в этом направлении до сих пор сделано очень немного, и лишь в последнее время и благодаря главным образом успехам физической химии стали намечаться пути изучения, то это, конечно, нужно приписать прежде всего невозможности непосредственно выделить почвенный раствор. Правда, еще в 1866 г. Schloesing (отец)* предложил метод для получения почвенного раствора посредством вытеснепия его из почвы водою; метод этот состоит в следующем.

В цилиндрический сосуд с отверстиями в 7—8 *мм* в дне, покрытом внутри фильтровальной бумагой, помещается исследуемая почва и медленно и равномерно орошается искусственным дождем; количество приливаемой воды регулируется с помощью Мариоттова сосуда. Свои опыты Schloesing производил с промытым песком и с почвой. При опытах с песком 1,2 *кг* хорошо промытого песка смешивалось с 200 *см*^{3} раствора поваренной соли и помещалось в лизиметр; производя анализ каждых последовательно вытесняемых 30 *см*^{3} раствора, автор нашел, что около 150 *см*^{3} вытесненного раствора имели первоначальную концентрацию; в другом опыте 1 *кг* песка смешивался с 100 *см*^{3} воды и поливался водой, сильно подкрашенной кармином, при этом первые 85 *см*^{3} вытесненной воды были совершенно бесцветны. Опыты с почвой показа-

---

[1] Воспроизводится по статье. напечатанной в «Журнале опытной агрономии», т. 7, кн. 5, 1906.

* *Th. Shloesing.* Sur l'analyse der principes solubles de la terre vegetable.— Compt. rendues de l'Acad. des sc., 1866, t. 63, p. 1007.

ли, по мнению Schloesing'a, что около 1/4 почвенного раствора, содержащегося в почве при 15%-ной влажности, вытесняется без изменения концентрации; почвенный раствор начинал вытекать из лизиметра на 4—6-й день, считая от начала увлажнения.

Мы считаем опыты Schloesing'a с песком совершенно не доказывающими неизменяемости концентрации раствора при вытеснении его из почвы; дело в том, что песок при его опытах находился в состоянии, близком к полной влагоемкости, а в этом случае, приняв еще во внимание крупнозернистость материала, естественно, что поливные воды гнали пред собою вниз раствор, переход же солей из раствора в воду вследствие диффузии должен был быть ничтожным, так как вода быстро просачивалась вниз. Совершенно иное мы будем иметь для почвы, особенно когда содержание воды в ней далеко от полной влагоемкости; в этом случае поливные воды прежде всего доведут почву до полной влагоемкости, заполнив безводные пространства, т. е. иначе говоря, смешавшись с почвенным раствором; кроме того, в данном случае диффузией уже нельзя пренебрегать, так как время соприкосновения воды с раствором уже довольно значительное. Таким образом, метод Schloesing'a нельзя считать удовлетворительным.

Недавно L. J. Briggs и J. W. McLane предложили способ выделения почвенного раствора, основанный на действии центробежной силы, для чего устроили центробежную машину, состоящую из трех концентрических цилиндров; в стенках среднего цилиндра сделаны мелкие отверстия; образец исследуемой почвы помещается между стенками среднего и внутреннего цилиндров; система этих цилиндров приводится в быстрое вращательное движение (около 8 000 оборотов в мин.); почвенный раствор действием центробежной силы выдавливается через отверстия среднего цилиндра и собирается в пространстве между стенками среднего и внешнего цилиндров; раствор обычно получается совершенно прозрачным.

Те же авторы предложили и другой способ * для выделения почвенного раствора из почвы прямо на поле; прибор состоит из Pasteur-Chamberlan'овского фильтра, соединенного свинцовой трубкой с двухлитровой бутылкой, из которой выкачан воздух. Трубка фильтра имеет слегка коническую форму. Для установки прибора особой трубкой, внешний диаметр которой равен внешнему диаметру суженного конца фильтровальной трубки, вынимается из почвы цилиндр, и в образовавшееся отверстие вставляется фильтровальный цилиндр. Прибор оставляют в таком положении 24 часа, затем удаляют бутыль и собирают профильтровавшуюся в чемберленовскую трубку жидкость высасыванием, не вынимая самой трубки из почв **.

O. Schreiner и G. Failyer, сотрудники по Bureau of Soils авто-

* Science, N. S., v. 20 (1904), p. 566.

** Описание обоих способов заимствуем из брошюры *O. Schreiner'a and Failyer'a* «Colorimetrie, turbidity and titration methods used in soil investigations».— Bull. N 31 Bureau of Soils, U. S. Depart. of Agr., 1906.

ров этих методов, описывая их, добавляют, что, к сожалению, методы применимы только при сравнительно высокой влажности почвы (выше, чем оптимальная для роста растений) и к тому же с помощью их можно получить очень мало почвенного раствора; мы, со своей стороны, добавим, что концентрация почвенного раствора при таких операциях должна, без сомнения, измениться: в первом методе применяется энергичное вращательное движение, а во втором усиленное давление.

Существует еще способ, предложенный Schloesing'ом-сыном * специально для определения концентрации фосфорной кислоты почвенного раствора; он основан на том предположении, что процентное содержание фосфорной кислоты в почвенном растворе не зависит от содержания в почве влаги, а потому оно может быть определено в водной вытяжке; произведя исследование, автор нашел, что при обработке 300 *г* почвы 1300 $см^3$ воды в течение 10 часов на вращательном аппарате со скоростью 2 оборотов в мин., концентрация фосфорной кислоты в вытяжке будет одинакова с концентрацией в почвенном растворе, полученном по способу Schloesing'а-отца.

Принцип, на котором основан этот метод, мы считаем совершенно неверным: концентрация раствора при различном отношении количеств почвы и воды не может быть одна и та же; на этом важном для изучения почвенных растворов моменте мы остановимся ниже подробнее; в тех случаях, когда методы Schloesing'а-сына и Schloesing'а-отца дают одинаковые цифры для фосфорной кислоты, как это мы видим в анализированных автором почвах, цифры эти показывают содержание фосфорной кислоты в почвенном растворе при влажности, приблизительно соответствующей полной влагоемкости; к этому необходимо еще добавить, что данных, приводимых автором, далеко не достаточно, чтобы можно было с некоторою уверенностью распространять полученные результаты на все почвы.

Наконец, чтобы закончить с существующими методами непосредственного определения солей в почвенном растворе, отметим способ, предложенный в 1897 г. M. Whitney'ем и T. H. Means'ом, «Электрический метод определения растворимых солей, содержащихся в почве» **; сущность способа состоит в том, что измеряется сопротивление электрическому току почвы известной влажности, и полученное сопротивление сравнивается с сопротивлением той же почвы при той же влажности, но с прибавкой определенного, небольшого количества поваренной соли; концентрация почвенного раствора выражается в эквиваленте поварен-

* *T. Schloesing-fils.* Etude sur l'acide phosphorique dissous par les eaux du sol.— An. de la Science Agron. 1899, t. I, p. 316, 323.

** *M. Whitney u. T. H. Means.* An electrical method of determining the soluble salt content of soils.— Bull. N 8, Bureau of Soils, U. S. Depart. of Agr., 1897.

T. H. Means. Notes on a modification of the electrical method of determining the soluble salt contents of soils.— Bull. N 12 Bureau of Soils U. S. Depart. of Agr., 1898, p. 20.

L. Briggs. Electrical instruments for determining the moisture, temperature and soluble salt content of soils.— Bull. N 15 Bureau of Soils U. S. Depart. of Agr., 1899.

ной соли. Произведенное нами в 1898 г. исследование этого метода * показало, что результаты его находятся в сильной зависимости от процента влажности и механического состава почвы и могут дать совершенно неверное представление о концентрации почвенного раствора и изменении ее в зависимости от процента влажности. Насколько нам известно, попытки применения этого способа, сделанные в самих Северо-Американских Соединенных Штатах, привели также в конце концов к отрицательному отношению к методу Whitney **, и в данное время он совершенно оставлен.

Мы рассмотрели, насколько нам известно, все предложенные до сих пор способы получения почвенного раствора; все они должны быть признаны, помимо всего остального, неудовлетворительными уже потому, что при самой операции выделения почвенный раствор изменяет свою концентрацию ***. Посмотрим теперь, насколько водная вытяжка может быть

* *К. Гедройц.* Электрический метод Whitney'я и Means'а для определения солонцеватости почв.— Журн. оп. агр., т. 1, 1900, стр. 21.

** Так, Wisconsin'ская опытная станция после двухлетнего применения этого метода (1899 и 1900 гг.) к изучению изменяемости концентрации почвенных растворов прервала свои исследования, так как метод «оказался не применим к таким разбавленным растворам, которые находятся в почве при хороших культурных условиях (?)».

*** Насколько нам известно, ни один из вышеописанных методов выделения почвенных растворов не был применен на практике в более или менее широких размерах; тем больший интерес поэтому имеет ряд цифр, полученных Whitney'ем и Cameron'ом («The Chemistry of the Soil as Related to Crop Production».— Bull. N 22 Bureau of Soils U. S. Depart. of Agric., 1903, p. 38) при анализе почвенного раствора, выделенного из почв посредством центрифугального метода Briggs'а и McLane; часть из исследованных ими почв анализировалась в свежем состоянии; другие почвы давно хранились и для выделения почвенного раствора должны были быть увлажнены; интерес представляют главным образом аналитические данные, относящиеся к почвенным растворам первой группы почв; их мы здесь и приведем:

Время взятия образца	Почва	Растение	Условия роста	Влажность почвы, %	Частей на миллион							
					PO_4		NO_3		Ca		K	
					почв. р-ра	сухой почвы	почв. р-ра	сухой почвы	почв. р-ра	сухой почвы	почв. р-ра	сухой почвы
1 мая	Суглинистая	Пшеница	Хорошие	22,0	6,30	1,38	1,44	0,32	16,20	3,56	21,60	4,75
То же	То же		Плохие	25,2	9,75	2,45	4,80	1,21	8,50	2,12	19,25	5,10
»	»		Хорошие	17,6	8,40	1,48	4,08	0,72	21,60	3,80	38,40	6,75
»	»	Клевер	»	19,7	5,28	1,04	2,24	0,44	17,82	3,51	18,48	3,64
»	»	Маис	Средние	17,5	7,50	1,27	2,60	0,44	13,40	2,28	36,00	6,12
8 июня		»	»	18,3	7,74	1,42	4,47	0,82	82,81	15,15	24,77	4,43
		Пшеница	Хорошие	18,8	7,20	1,35	7,20	1,35	44,40	8,34	33,60	6,31
			Плохие	20,0	7,00	1,40	0,40	0,08	26,90	5,38	24,40	4,88
16 июня	Песчаная	Маис	Хорошие	17,3	8,40	1,45	1,56	0,27	24,18	4,18	24,96	4,32
1 мая	То же	Лес	Плохие	10,0	5,00	0,50	10,60	1,06	18,00	1,80	31,00	3,10
8 июня		Маис	Хорошие	11,8	10,80	1,28	64,80	7,68	35,84	4,24	31,04	3,68
		Пшеница	»	10,7	18,25	1,95	1,50	0,16	44,80	4,80	30,80	3,30
16 июня		»	Плохие	11,2	7,50	0,84	0,66	0,07	37,62	4,21	23,76	2,65
		Маис	Средние	10,6	9,00	0,95	3,96	0,28	64,50	6,83	34,56	5,0

пригодна для изучения почвенных растворов. Для приготовления водной вытяжки в силу необходимости приходится применять количества воды, значительно превышающие содержание ее в почве при самой большой влажности, а так как в почве мы имеем дело преимущественно с трудно растворимыми соединениями, то, конечно, из данного количества почвы в вытяжку перейдет больше веществ, нежели их имеется в почвенном растворе.

Какова же будет концентрация вытяжек при различном отношении количеств почвы и воды? Основываясь на общем законе, что растворимость твердого вещества при его избытке не зависит от относительных количеств твердого тела и растворителя, можно было бы думать, что при установившемся равновесии между почвою и водою концентрация раствора будет при всех отношениях количеств почвы и воды одна и та же, а именно, будет соответствовать концентрации насыщенного раствора. На самом же деле этого нет. Можно привести много данных, показывающих обратное, т. е. что с увеличением отношения между количеством воды и почвы количество веществ, переходящих в вытяжку, возрастает не пропорционально увеличению количества воды, а медленнее, т. е. концентрация уменьшается; мы ограничимся лишь данными, взятыми у King'а *.

Из миллиона частей сухой почвы в раствор перешло частей:

Отношение количества воды и почвы	NO_3	SO_4	HPO_4	HCO_3	Cl	SiO_2	Общая сумма извлеченных водою кислот
1 : 2,5	19,58	41,00	4,06	10,60	5,28	13,55	93,87
1 : 5	17,58	49,11	6,02	24,22	7,04	13,62	113,56

Таким образом, с увеличением количества воды в два раза концентрация отрицательных ионов увеличилась всего с 93,87 до 113,56, т. е. всего лишь в 1,2 раза.

Это явление можно отчасти приписать тому, что при приготовлении водных вытяжек самое продолжительное время, применяемое при этом (кажется, дольше двух дней нигде вытяжки не настаиваются), далеко не достаточно для достижения равновесия между почвою и водою, но что во всяком случае дело не только в этом и что и по достижении равновесия, по всей вероятности, характер явления остался бы тот же, например, из исследований F. Cameron'а и L. Hurst'а **. Они продолжительное время обрабатывали фосфаты железа, алюминия и кальция раз-

* *F. H. King.* Investigation in Soil Management.— Bull. N 26 Bureau of Soils U. S. Depart of Agric., 1905, p. 33.

** *F. K. Cameron* and *L. A. Hurst.* The action of water and saline solutions upon certain slighty soluble phosphates.— Journ. of the Amer. Chem. Soc., T. 26, 1904, p. 885.

личными количествами воды и определяли фосфорную кислоту, переходящую в раствор; вот некоторые из полученных ими данных:

Фосфорнокислое железо, 43-дневная обработка водой		Фосфорнокислый алюминий, 48-дневная обработка водой		Трехкальциевый фосфат, 12-дневная обработка водой	
На 1 *г* вещества *см*³ воды	PO_4, *г* в литре раствора	На 1 *г* вещества *см*³ воды	PO_4, *г* в литре раствора	На 1 *г* вещества *см*³ воды	PO_4, *г* в литре раствора
25	0,302	50	0,3886	2,5	1,2293
60	0,257	100	0,2110	5,0	0,9049
85	0,136	250	0,0968	10,0	0,6805
140	0,099	600	0,0516	20,0	0,3825
200	0,080	4000	0,0113	40,0	0,2156
800	0,029	8000	0,0049	60,0	0,1668
				80,0	0,1315
				100,0	0,1131
				200,0	0,0679
				400,0	0,0427

Время соприкосновения твердого вещества с водой в этих опытах, как видно из таблицы, было настолько продолжительно, что если даже равновесие было еще не вполне достигнуто, то дальнейшее соприкосновение не могло бы изменить заметно полученного результата; цифры ясно показывают, как сильно понижается концентрация фосфорной кислоты, переходящей в раствор, с увеличением относительного количества воды. По мнению авторов, это явление может быть, по крайней мере отчасти, объяснено неодинаковой величиной частиц твердых фосфатов. Таким образом, растворимость таких сравнительно несложных почвенных соединений, как фосфаты, не подчиняется раньше приведенному общему закону; большинство же почвенных соединений, как электролитов, так и неэлектролитов, являются несравненно более сложными, чем фосфаты; один и тот же элемент может находиться в почве в различных соединениях, обладающих различной степенью растворимости; одно и то же соединение может быть неоднородно, и различные части его, в зависимости от времени их образования и величины кристаллов, могут отличаться разной растворимостью и разной скоростью растворения; количественное отношение подобных соединений может быть таково, что более растворимые целиком будут переходить в раствор уже при меньших количествах воды, тогда, конечно, с дальнейшим прибавлением воды, концентрация вытяжки будет понижаться *.

* *A. Mitscherlich* в статье Die chemische Bodenanalyse (Fühl. Land. Zeit., 1906, H. 11, S. 361) приводит, между прочим, общее количество веществ, извлекаемых из разных навесок двух почв одним и тем же количеством воды при 11½ часах настаивания; количество извлекаемых веществ увеличилось с увеличением навески почвы. но концентрация раствора понижалась; но для одной из почв автор нашел, что если из количества веществ, переходящих в раствор из 1 *г* почвы при различных количествах воды, отнять всюду одну и ту же величину, то остатки будут изменяться прямо пропорционально количеству употребленной воды, т. е. концентрация будет постоянной; таким образом, в этой почве как будто находится небольшое количество легко-

Итак, и общее количество веществ (или вещества), извлекаемых из почвы водной вытяжкой, и концентрация водной вытяжки не могут дать нам точного представления о почвенном растворе; существующие методы получения почвенного раствора, как мы указывали выше, также не дают возможности получить неизменный почвенный раствор, и мы вообще думаем, что все попытки выделить неизменный раствор из почвы при сравнительно малом проценте влажности ее останутся бесплодными, так как без применения известного и притом значительного усилия это по самому существу дела невозможно: жидкость в почве удерживается молекулярными силами, достигающими значительной величины.

Какой же избрать путь для изучения почвенного раствора? Чтобы хоть несколько подойти к этому вопросу, нам прежде всего необходимо ориентироваться в рассматриваемом явлении, возможно детальнее остановиться на вопросе, что такое почвенный раствор.

Почвенный раствор является одной из составных частей чрезвычайно сложной неоднородной системы, состоящей из большого числа физически обособленных комплексов или так называемых фаз, а именно: из твердых фаз, число которых, а в большинстве случаев и состав, неизвестны, из газообразной фазы (почвенной атмосферы), состав которой если не в качественном, то в количественном отношении тоже неизвестен, и наконец, из жидкой фазы, т. е. интересующего нас почвенного раствора. Его состав находится в зависимости от состава и растворимости почвенных соединений, от скорости их растворения и от поглотительной способности почв; почвенная атмосфера влияет на состав почвенного раствора, во-первых, непосредственно, усложняя его введением в него своих составных частей, а во-вторых, посредственно, изменяя растворимость почвенных соединений; в этом последнем отношении газообразная фаза играет существенную роль в почве. Мы рассмотрим в отдельности каждый из факторов, влияющих на состав почвенного раствора.

Растворимость почвенных соединений. Громадное большинство почвенных соединений отличаются малой растворимостью; исключение составляют нитраты, хлораты [хлориды] и сульфаты, содержание которых в почве обычно мало и, таким образом, хотя их растворимость в общем велика, концентрация их в почвенном растворе не высока. Большинство же составляющих почву минералов и продуктов их выветривания сравнительно очень мало растворимо в воде; мы не будем останавливаться на этом вопросе *, отметим лишь одно чрезвычайно важное для нас обстоятельство: водные растворы почти всех встречающихся в почве минералов имеют щелочную реакцию. Дело в том, что почти все

растворимых соединений, извлекаемых уже при самом малом количестве воды, и потому маскирующих независимость концентрации вытяжки от относительных количеств воды и почвы.

* Интересующиеся могут найти довольно полную литературу по растворимости минералов в брошюре *F. K. Cameron and James M. Bolj* «The Mineral Constituens of the Soil Solution».— Bull. N 30 Bureau of Soils U. S. Depart. of Agr., 1905, а также в книге *C. Doelter* «Physikalisch-Chemische Mineralogie», 1905.

эти минералы представляют соли слабых кислот (преимущественно кремневых кислот) и относительно сильных оснований (калий, натрий, кальций, магний, железо, марганец); растворение таких соединений сопровождается сильным гидролизом с образованием электрически недиссоциированной кислоты и диссоциированного гидрата основания, т. е. в растворах образуются ионы гидроксила, обусловливающего собою щелочную реакцию. Отметим также, что по исследованию F. Kohlrausch'а *, L. Kahlenberg'а и A. Lincoln'а ** силикаты при этом вполне распадаются на гидрат основания и кислоту, и в растворе уже не содержится вовсе силиката как такового.

Растворимость почвенных соединений, как и всяких других, не есть величина постоянная, она находится в зависимости от температуры и давления, но в почвенных растворах она кроме того в сильной степени зависит от состава газообразной фазы; в этом отношении важны две составные части этой фазы: кислород и углекислота; роль кислорода посредствующая: действуя на почвенные соединения и переводя их в высшие степени окисления, он тем изменяет их растворимость (окисляя, напр., закисные соединения железа, переводит железо из легкорастворимой формы в труднорастворимую); кроме того, от величины парциального давления этого газа в почвенном воздухе находится в зависимости степень разложения органического вещества, продукты которого также влияют на растворимость силикатов; одним из этих продуктов является углекислота; таким образом, кислород и органическое вещество почвы влияют на количество второй важной составной части газообразной фазы почвенной системы, а именно, на количество углекислоты, в тесной зависимости от которой находится растворимость почвенных соединений.

Многочисленными исследованиями растворимости отдельных минералов в воде, содержащей углекислоту, а также вытяжки из почвы водою, содержащей углекислоту, установлено, что присутствие углекислоты сильно повышает растворимость минералов и почвенных соединений. Причина такого влияния углекислоты, по нашему мнению, следующая. Углекислота, растворяясь в почвенном растворе, частью переходит в гидрат H_2CO_3, электролитическая диссоциация которого хотя и незначительна по сравнению с диссоциацией других кислот, но во всяком случае значительно превышает электролитическую диссоциацию воды, поэтому в растворах углекислоты мы будем иметь некоторый избыток ионов H сравнительно с количеством их в чистой воде. С другой стороны, как раньше мы видели, большая часть почвенных соединений, растворяясь, гидролизируется, и так как почвенные соединения принадлежат преимущественно к типу солей, составленных из слабых кислот и относительно сильных оснований, то в результате гидролиза в растворе получается некото-

---

* *F. Kohlausch.* Ueber Lösungen von Natrium-silikaten; insbesondere auch über einen Einfluss' der Zeit auf deren Konstitution.— Ztschr. f. phys. Chem. XII (1893), S. 773—791.

** *L. Kahlenberg and A. Lincoln.* Solutions of silicates of the Alkalies.— Journ. of Phys. Chem. 2 (1898), p. 77; реф. в Neues Jahrb. f. M., G. P. 1899 (II), p. 95.

рый избыток ионов OH сравнительно с количеством их в чистой воде; при известном накоплении их в растворе наступает равновесие, гидролиз, а вместе с ним и растворение прекращается; удаляя тем или иным способом гидроксильные ионы, мы тем самым будем нарушать равновесие, для восстановления которого в раствор должны будут перейти новые количества твердого тела; введение в раствор углекислоты и является таким средством выведения гидроксильного иона из сферы действия: в растворе у нас образуются ионы OH и H в таких количествах, что произведение их концентраций превысит произведение их растворимости, и они соединятся, образуя молекулы воды *. На соединения противоположного характера, состоящие из слабых оснований и сравнительно сильных кислот, действие углекислоты будет обратное, но таких соединений в почве во всяком случае немного (фосфаты железа, гипс).

Температура и парциальное давление углекислоты в почвенной атмосфере — два самых важных фактора, обусловливающих степень растворимости почвенных соединений; оба эти фактора по своей величине находятся в состоянии постоянной изменяемости не только в пространстве, но и во времени, поэтому и растворимость почвенных соединений не только для различных, но и для одной и той же почвы — фактор переменный.

Укажем еще, что растворимость находится в зависимости от величины частиц твердого тела; растворимость более мелких частиц вещества больше, чем растворимость более крупных частиц того же вещества, так что раствор, насыщенный в отношении данного соединения с известной величиной частиц, будет ненасыщенным для того же соединения, но мельче раздробленного, и пересыщенным для более крупных частиц его; таким образом, на состав почвенного раствора оказывает влияние и механический состав почвы.

Скорость растворения почвенных соединений. Процесс растворения требует известного времени; к сожалению, насколько нам известно, скорость растворения в воде силикатов и других почвенных соединений почти не изучалась; чтобы дать некоторое представление о времени, необходимом для того, чтобы установилось при растворении равновесие, укажем на цитированное уже нами исследование Cameron'a и Hurst'a над действием воды на трудно растворимые фосфаты: в одном опыте с фосфорнокислым железом оказалось, что для получения насыщенного раствора недостаточно 12-дневного периода с частым взбалтыванием и есть основания предполагать, что 43-дневного взбалтывания не вполне достаточно; между тем взбалтывание, отсутствующее, конечно, в почве, значительно ускоряет растворение; так, по исследованиям A. Noyes и W. Whitney'я **, у поверх-

* Влияние углекислоты на растворимость силикатов совершенно аналогично с влиянием ее на растворимость трехкальциевого фосфата, как соединения, также состоящего из слабой кислоты и относительно сильного основания. Влияние это подробно нами рассмотрено в статье «Влияние известкования на доступность растениям фосфорной кислоты почвы и фосфорнокислых соединений».— Журн. оп. агр., т. 6, 1905, стр. 686.

** *A. A. Noyes und W. R. Whitney.* Ueber die Auflösungsgeschwindigkeit von festen Stoffen in ihren einigen Lösungen.

ности кристалла, находящегося в соприкосновении с водою, в каждый момент раствор находится в состоянии насыщенном, и скорость растворения * обусловливается только скоростью диффузии из этого слоя в дальше лежащие. На основании этих исследований Nernst ** делает заключение, что «в пограничном слое равновесие устанавливается всегда, если не с бесконечно большою, то все-таки с весьма значительною скоростью, выравнивание же концентрации посредством диффузии происходит медленно». Во всяком случае эти опыты и многочисленные исследования над скоростью растворения различных соединений в кислотах говорят за то, что растворение почвенных соединений есть процесс очень медлительный, что нарушенное равновесие вследствие изменившихся условий, например, температуры или содержания в почвенной атмосфере CO_2, требует для своего восстановления известного, довольно продолжительного времени.

Третьим фактором, обусловливающим состав почвенного раствора, является так называемая поглотительная способность почвы; мы ее рассмотрим для удобства изложения несколько ниже.

Все изложенное до сих пор позволяет сделать относительно почвенных растворов два заключения, являющихся чрезвычайно важными, по нашему мнению, для ясного представления об этих растворах и для выбора правильного пути к их изучению.

Во-первых, *качественный и количественный состав почвенного раствора, соответствующий состоянию равновесия данной почвенной системы, зависит не только от химического состава почвы, но в значительной степени от физических свойств ее и климатических условий, и должен постоянно изменяться в зависимости от беспрерывного изменения внешних факторов, влияющих на растворимость почвенных соединений*; во-вторых, *обычное состояние почвенной системы не есть состояние равновесия*; иначе говоря, почвенный раствор обычно не находится в таком состоянии, которое соответствовало бы насыщенному состоянию при имеющихся в данный момент внешних условиях; особенно это должно быть ясно, если принять во внимание, кроме раньше сказанного, постоянное изменение концентрации почвенного раствора нисходящим и восходящим движением воды, быстро изменяющимся во времени всасывающим действием корневой системы и постоянным изменением парциального давления углекислоты в почвенном воздухе вследствие дыхания корней растения; все эти факторы меняются быстро, а между тем для восстановления нарушенного равновесия необходимо довольно продолжительное время; состояние равновесия для почвенной системы есть предельное состояние, к которому она постоянно стремится и которого, по всей вероятности, вообще не достигает; степень близости почвенного раствора к состоянию, соответствующему состоянию равновесия почвенной системы, находится в зависи-

* По исследованиям тех же авторов, она в каждый момент пропорциональна разности между концентрацией насыщенного раствора и концентрацией в рассматриваемый момент.

** *W. Nernst.* Теоретическая химия. СПб., 1904, стр. 473.

мости от скорости растворения почвенных соединений, т. е. от химического и механического состава почвы, и от степени непостоянства внешних условий, влияющих на растворимость.

Отсюда же сам собой вытекает и тот [второй] вывод, что *концентрация почвенного раствора есть величина переменная, постоянно изменяющаяся* не только в пространстве, но и во времени *; в пространстве она будет изменяться в зависимости от химических и физических свойств почвы и климатических условий, характера культуры; во времени — в зависимости от изменений указанных раньше внешних факторов.

Конечная цель изучения почвенной системы, как и всякой иной, заключается в том, чтобы уметь определять ее состояние (т. е. качественный и количественный состав почвенного раствора) при данных внешних условиях; для достижения этой цели можно и нужно идти двумя путями: с одной стороны, продолжать то, на что до сих пор главным образом и было обращено внимание исследователей, а именно, изучать с

---

* В последнее время в американской агрономической литературе некоторыми исследователями высказывается мнение, что урожайность почвы не находится в зависимости от химического состава почвы. Впервые это мнение было высказано *Witheney'ем* и *F. K. Cameron'ом* в статье «The Chemistry of the Soil as Related to Crop Production».— Bull. N 22 Bureau of Soils U. S. Depart. of Agric. 1903. Сравнивая результаты анализов водных вытяжек из многочисленных и разнообразных почв с урожайностью этих последних, авторы не нашли между теми и другими никакой зависимости. Отсюда они сделали заключение, что величина урожая в общем обусловливается не количеством питательных веществ в почве, а некоторым физическим фактором, точная природа которого неизвестна. Желая дать теоретическое обоснование этому заключению, они развивают следующий взгляд: большинство почв состоит из одних и тех же минералов и продуктов их выветривания; соединения эти труднорастворимы, а потому почвенные растворы большинства почв, несмотря на неодинаковые количества присутствующих в ней соединений того или другого питательного элемента, будут иметь приблизительно один и тот же состав и концентрацию; отсюда естественно, что не в химическом составе дело, а в физических свойствах почв и в климатических условиях. Остановимся несколько на этих взглядах.

Нам кажется, что заключение этих исследователей о независимости урожайности от количества питательных веществ вовсе не вытекает из того, что ими не было обнаружено никакого соотношения между их аналитическими данными и урожайностью. Во-первых, нужно было бы доказать, соответствуют ли данные водной вытяжки действительному содержанию в почве питательных веществ. Во-вторых, само собой разумеется, урожайность не может зависеть только от количества питательных веществ, на нее влияют физические свойства почвы, климатические условия и соотношение между питательными веществами. Урожайность, таким образом, зависит от совокупности условий, а потому отсутствие определенной зависимости урожайности от количества веществ, извлекаемых из почвы водной вытяжкой, может быть только кажущимся вследствие влияния остальных условий.

Далее, не можем мы согласиться и с теоретическим обоснованием этого заключения; оно противоречит высказанному нами взгляду на почвенный раствор; если даже допустить, что многие почвы действительно имеют сходный состав, то отсюда еще вовсе не следует, что почвенные растворы их будут приблизительно одинаковы: состав и концентрация почвенного раствора зависит, как мы видели, не только от химического состава, но и от механического состава, физических свойств почв, климатических условий, того или другого культурного состояния почвы; все эти факторы, кроме непосредственного влияния на растения, влияют на них и косвенно, так или иначе изменяя количество питательных веществ, находящихся в почвенном растворе.

помощью химического и минералогического анализа почвенные соединения, т. е. твердые фазы системы, а с другой стороны, приступить к систематическому изучению жидкой фазы, т. е. состава водных растворов как отдельных составных частей почвы, так и их разнообразных смесей, до почвы включительно, и изменяемости этого состава в зависимости от температуры, парциального давления углекислоты и т. д.* В этом направлении в области почвоведения до сих пор сделано очень мало. Ввиду вышеуказанного характера почвенной системы изучение ее должно заключаться, во-первых, в изучении ее *статики*, т. е. в изучении состава и концентрации почвенного раствора отдельных представителей почв при состоянии равновесия системы; ввиду же невозможности выделения почвенного раствора из системы в неизмененном состоянии и ввиду изменяемости растворимости почвенных соединений в зависимости от отношения между количествами почвы и воды, для этой цели необходимо изучить эту зависимость. Быть может, этого можно достичь подробным исследованием целого ряда водных вытяжек с самыми разнообразными отношениями между количествами почвы и воды; время настаивания водных вытяжек должно быть настолько велико, чтобы исследуемые системы приблизить к состоянию равновесия. Полученные данные из анализа достаточного количества таких вытяжек дадут, быть может, возможность установить зависимость между отношением количеств почвы и воды, с одной сторо-

* Насколько нам известно, детальное изучение действия воды при различных условиях на отдельные составные части почвы было произведено лишь в отношении карбонатов и фосфатов.

Главнейшая литература, относящаяся к карбонатам:

Th. Schloesing. Sur la dissolution du carbonate du chaux par l'acide carbonique.— Compt. Rendu. t 74, 1872, p. 1552.

Van't Hoff. Vorlesungen über theoretische und physikalische Chemie, I, S. 148.

J. Shields. Über Hydrolyse in wässerigen Salzlösungen.— Ztschr. f. phys. Chem., T. XII, 1893 — S. 167.

G. Bodländer. Über die Löslichkeit der Erdalkalikarbonate in kohlensäurehaltigen Wasser. Там же, T. 35, 1900, S. 23.

R. Engel. Sur la dissolution du carbonate de magnesie par l'acide carbonique.— Compt. Rendus., t. 100, 1885, p. 353, 444.

F. Cameron u. L. Briggs. Equilibrium between Carbonates and Bicarbonates in Aqueous Solution.— Bull. N 18. Divis. of Soils U. S. Depart. of Agr., 1901.

McCoy. Equilibrium in the System composed of Sodium Carbonate, Sodium Bicarbonate, Carbon Dioxide and Water.— Amer. Chem. Journ., v. 19, 1903, p. 437.

Главнейшая литература, относящаяся к фосфатам:

F. Cameron u. L. Hurst. The Action of Water and Saline Solution upon certain slightly Soluble Phosphates.— Journ. Amer. Chem. Soc., v. 26, 1904, p. 885.

В этой работе читатель найдет подробное указание на более ранние исследования.

F. Cameron u. A. Seidell. The Action of Water upon the Phosphates of Calcium.— Там же, p. 1454.

F. Cameron u. A. Seidell. The Phosphates of Calcium, I. Там же, v. 27, 1905, p. 1503.

F. Cameron u. J. Belt. The Phosphates of Calcium, II. Там же, p. 1512.

Кроме того имеется несколько исследований, имеющих интерес в почвенном отношении, по влиянию присутствия в растворах некоторых соединений на растворимость гипса и углесолей. См., например, *F. Cameron, L. Briggs and A. Seidell.* Solution studies of salts occuring in alkali soils.— Bull. N 18 Divis. of Soils, U. S. Depart. of Agr., 901.

ны, и составом и концентрацией раствора, с другой стороны, т. е дадут возможность уже вычислением подойти к составу и концентрации почвенного раствора при любой влажности, но в *состоянии равновесия.*

Если же упомянутая зависимость окажется настолько сложна, что ее нельзя будет установить непосредственно для почвы, то придется начать с изучения отдельных почвенных соединений, а затем их различных смесей; изучение водных растворов таких смесей необходимо, так как на основании состава и концентрации раствора отдельных почвенных соединений при теперешних наших знаниях нельзя будет по двум причинам вывести состав и концентрацию раствора смеси.

1. Растворимость электролитов в водных растворах других электролитов иная, нежели в чистой воде; это влияние посторонних веществ нельзя определить теоретически; во всяком случае для большинства соединений почвы оно не может быть велико, так как растворимость их мала, а растворимость таких соединений может изменяться в значительной степени лишь в присутствии в растворе более или менее значительного количества других веществ.

2. Продукты растворения и разложения какого-либо соединения могут поглощаться другими соединениями; поглотительная способность почвы и ее отдельных соединений должна оказывать вследствие этого большое влияние на состав и концентрацию их водных растворов; O. Schreiner и G. Failyer на основании очень длительного изучения поглощения почвами фосфорной кислоты и калия приходят даже к такому заключению, «что в исследованиях, относящихся к растворимости труднорастворимых тонко измолотых веществ, каковы почвы и породообразующие минералы, приходится иметь дело не столько с самой растворимостью, сколько с явлениями разложения и поглощения и с вымыванием поглощенных продуктов разложения» *.

Во-вторых, необходимо изучить *кинетику* почвенной системы, т. е. скорость растворения в воде почвенных соединений, влияние на нее различных внешних условий; приступить к более или менее систематическому изучению ее можно будет лишь после многих предварительных исследований в том же направлении отдельных соединений почвы и их смесей.

Есть еще одно обстоятельство, усложняющее изучение почвенного раствора; именно, явление *адсорбции* твердыми частицами почвы растворенных веществ; в силу этого явления концентрация раствора у поверхности почвенных частиц даже при состоянии равновесия почвенной системы будет иная, нежели в некотором расстоянии от частиц; почвенный раствор даже в том предельном случае, когда наступило равновесие, не является всюду однородным по своей концентрации, а потому та предельная концентрация, которую мы получили бы вышеизложенным приемом, представляла бы только среднюю предельную концентрацию при данных условиях. Явление адсорбции должно играть немалую роль в жизни почвенно-

---

* *O. Schreiner and G. H. Failyer.* The Absorption of Phosphates and Potassium by Soils.— Bull. N 32, Bureau of Soils, U. S. Depart. of Agric., 1906.

го раствора и в питании растений, поэтому мы позволим себе остановиться на нем несколько подробнее.

Наиболее обстоятельная теоретическая разработка адсорбции растворенных веществ была сделана Lagergren'ом *; он исследовал адсорбцию каолином, костяным углем и порошком стекла растворов многих солей [$NaCl$, $NaNO_3$, Na_2SO_4, KCl, KNO_3, K_2SO_4, NH_4Cl, NH_4Br, NH_4NO_3, $(NH_4)_2SO_4$, $Ba(NO_3)_2$ и $MgCl_2$]; растворы одних из этих солей после взбалтывания с адсорбирующими веществами понижали свою концентрацию, т. е. показывали *положительную* адсорбцию, растворы же других солей [а именно: $NaCl$, KCl, NH_4Cl, NH_4Br, $(NH_4)_2SO_4$ и $MgCl_2$], наоборот, увеличивали концентрацию, т. е. показывали *отрицательную* адсорбцию. По теории Lagergren'а явление адсорбции связано с особым свойством слоя воды, окружающего твердую частицу: слой этот находится в сильно сжатом состоянии, соответствующем давлению до 6000 атмосфер, растворимость же солей находится в зависимости от давления, а именно, у большинства веществ она возрастает с увеличением давления, а потому концентрация растворов таких веществ будет больше в слое, примыкающем к твердой частице адсорбирующего тела, и соединения эти будут обнаруживать *положительную* адсорбцию; остальные соединения с увеличением давления становятся менее растворимы; растворы таких соединений вблизи твердых частиц будут поэтому менее концентрированы, т. е. будут показывать *отрицательную* адсорбцию.

В последнее время по адсорбции появилась работа Briggs'а **, интересная для нас в том отношении, что автор в качестве адсорбирующего материала употребляет одну из составных частей почвы, а именно тонко измолотый кварц; кроме того, в статье имеются числовые данные. Автор нашел, что адсорбирующая способность кварца значительно ниже, чем у аморфной кремнекислоты: так, из 0,1 н. раствора едкого калия кварц адсорбировал лишь около 1% того количества этого вещества, которое заключалось в песке при полном насыщении его раствором; поэтому, по мнению Briggs'а, кристаллический кварц не играет заметной роли в адсорбционных явлениях в почве; далее автор нашел, что отношение адсорбированного количества соли к концентрации раствора уменьшается с увеличением концентрации; таким образом, чем слабее раствор, тем относительно сильнее адсорбция. Концентрация почвенных растворов вообще очень мала, а для некоторых из растворенных в нем веществ и совершенно ничтожна; поэтому такая зависимость адсорбции от концентрации является важным моментом в оценке значения адсорбционных явлений в отношении влияния их на неоднородность концентрации почвенного раствора и на условия питания растений.

Ограничиваемся только приведенной литературой по адсорбции, так

---

* *S. Lagergren*. Zur teorie der sogenannten Adsorption gelöster Stoffe.— Bih. Sv. Vet. A. K. Handl. Bd. 4 (2), N 4, S. 39, 1889. Fortsch. der Physik, Bd. 55, N 1, S. 648.

** *L. J. Briggs*. On the adsorption of water vapor of certain salts in aqueous solution by quartz.— Journ. Phys. Chem., v. 9, 1905, p. 617.

как остальная имеет мало отношения к нашей задаче; во всяком случае и то, что приведено нами, достаточно обрисовывает это явление; в теории почвенных растворов необходимо резче выделить это явление из среды других почвенных явлений, также изменяющих концентрацию почвенных растворов. Вообще теперь есть возможность и следует расчленить ту совокупность разнородных в сущности почвенных процессов, которые известны под общим именем «поглотительной способности» почвы, по крайней мере на три отдельных процесса: поглотительная способность в тесном смысле, адсорбция и абсорбция.

Название поглотительной способности в тесном смысле мы сохранили бы лишь для тех процессов поглощения, которые носят чисто химический характер, в противоположность другому чисто физическому процессу — только что рассмотренной адсорбции; среднее место между этими двумя процессами будет занимать абсорбция, т. е. поглощение растворимых веществ твердыми почвенными соединениями (преимущественно коллоидами) всею своею массою — процесс, по всей вероятности, очень схожий с образованием твердых растворов и имеющий физико-химический характер. В этом процессе существенную роль играют коллоидальные соединения почвы. Насколько нам известно, van-Bemmelen первый обратил внимание на широкое распространение коллоидов в почве и на их важную роль в ней; недавно B. Sjollema * предложил способ их выделения из почвы. Из почвенных соединений в коллоидальном состоянии могут находиться: кремнекислота **, гидрат окиси железа, гидрат окиси алюминия, различные продукты выветривания силикатов и гуминовые вещества ***.

---

* *B. Sjollema.* Anwendung von Farbstoffen bei Boden-Untersuchungen.— Journ. fur Landw. Bd. 53, 1905, S. 67—69. *Он же.* Die Isolierung der Kolloidsubstanzen des Bodens.— Там же, S. 70—76.

** Указанные уже нами исследования *F. Kohlrausch'а* над натровым силикатом, а затем *L. Kahlenberg'а* и *A. Lincoln'а* над другими силикатами показали, что в слабых растворах они почти сполна распадаются на гидрат и свободную кремнекислоту, которая в растворе находится в коллоидальном состоянии.

*** *Van-Bemmelen.* Beitrage zur Kenntnis der Verwitterungsprodukte der Silikate in Ton, Vulkanischen und Laterit-Böden.— Ztschr. f. anorg. Chem., Bd. 42, 1904, S. 265—314.

Van-Bemmelen вообще много работал по вопросу о коллоидах, и его работы имеют непосредственное отношение к почвам, поэтому мы здесь приведем список его статей:

«Das Absorptionsvermögen der Ackererde», Ld. Vers.-St. Bd. 21 (1878). S. 136—191; Bd. 23, 1879, S. 205—303.

«Die Absorptionsverbindungen und das Absorptionsvermögen der Ackererde». Там же. Bd. 35, 1888, S. 69—136.

«Über die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels der in den kolloidalen Silicaten gebundenen Kieselsäure, des Mangans etc. im Ackerboden».— Там же. Т. 37, S. 279—298.

«Die Absorption des Wassers in den Kolloiden, besonders in dem Gel der Kieselsäure».— Ztschr. f. anorg. Chem., Bd. 13 (1897), S. 233—356.

Die Absorption:

II. Abhandl.: Die Bildung des Gels und ihre Structur.— Там же. 18 (1898), S. 14—36.

III. Abhandl.: A. Hohlräume, die bei der Entwässerung des Hydrogels von SiO_2 entste-

Для выяснения роли этих соединений необходимо иметь в виду следующее. Коллоидам присущи две модификации: коллоидальный раствор (псевдораствор) и студень; при пропускании электрического тока через коллоидальный раствор растворенный коллоид осаждается, смотря по природе, или на катоде, или на аноде: гидраты окиси железа, алюминия и кадмия, гемоглобин и некоторые другие на катоде, это будут *положительные* коллоиды; большинство же, как-то: кремнекислота, металлы, сернистые металлы, таннин, крахмал, желатин, индиго и др. осаждаются на аноде и носят название *отрицательных* коллоидов. При прибавлении к коллоидальному раствору электролитов коллоиды свертываются и выпадают, одни в виде порошка или хлопьев, другие в виде студня; положительные коллоиды очень легко выпадают под влиянием оснований, особенно одноосновных металов, отрицательные же коллоиды обратно [1]; положительные коллоиды в виде гидрогеля следами кислоты снова переводятся в псевдораствор, ту же роль играют следы щелочи в отношении выделившегося в виде гидрогеля отрицательного коллоида.

В осаждении солями коллоидов из их растворов существенную роль играет в отношении отрицательных коллоидов катион соли, а в отношении положительных — анион соли; с возрастанием значности того и другого увеличивается осаждающее действие соли, так что отрицательные коллоиды особенно чувствительны к солям трехзначных катионов, а положительные — к солям многозначных анионов. Когда отрицательный коллоид осаждается электролитом (основанием или солью), получающийся осадок поглощает некоторое количество положительного иона (металлического иона); отрицательный же коллоид, осаждаясь кислотой или солью, поглощает отрицательный ион (кислотный радикал).

Таким образом, коллоиды обладают способностью поглощать из растворов, смотря по природе, или положительные, или отрицательные ионы, освобождая в растворе или отрицательные, или положительные ионы, т. е. изменять нейтральную реакцию среды, делая ее или кислой, или щелочной. В отношении почвенных растворов подобное свойство коллоидов должно иметь большое значение, так как реакция почвенных раст-

---

hen. B. Der Verlust des Absorptionsvermögens der Kolloide. C. Die Umsetzen von krystallinischen Hydraten im amorphen Substanzen; Там же. 18 (1898), S. 98—146.

IV. Abhandl.: Die Isotherme des kolloidalen Eisenoxydes bei 15°. Там же. 20 (1899), S. 185—211.

V. Abhandl.: Die. Absorption von HCl und KCl aus wasseriger Lösung durch kolloidales Zinkoxyd. Там же. 23 (1900), S. 111—125.

VI. Abhandl.: Die Absorption von Stoffen aus Lösungen. Там же. 23 (1900), S. 321—372.

VII. Abhandl.: Ein Einwirkung von höheren Temperaturen auf das Gewebe des Hydrogels der Kieselsäure. Там же. 30 (1902), S. 265—79.

VIII. Abhandl.: Absorptionsverbindungen von Hydrogels falls auch chemische Verbindungen oder Lösungen stattfinden können. Там же. 36 (1903), S. 380—402.

IX. Abhandl.: Uber den Unterschied zwischen Hydraten und Hydrogelen und die Modifikation der Hydrogels. Там же. 49 (1906), S. 126—147.

[1] По-видимому, К. К. Гедройц хотел этим сказать, что отрицательные коллоиды более чувствительны к катионам.— *Прим. ред.*

воров является важным моментом как в процессах почвообразования *, так и в питании растений **. Мы приведем здесь данные, относящиеся к поглощению из раствора положительных ионов глиною (отрицательный коллоид), заимствованные нами у A. S. Cushman'a ***.

10 *г* глины обрабатывались 5 мин. 50 *см*³ 1/10 растворами

	Положительный ион				Отрицательный ион			
Соли	Вес его в 50 *см*³ раствора, *г*	Вес его в 50 *см*³ фильтрата, *г*	Поглотилось 10 *г* глины, *г*	Абсорбция,%	Вес его в 50 *см*³ раствора, *г*	Вес его в 50 *см*³ фильтрата, *г*	Поглотилось 10 *г* глины, *г*	Абсорбция,%
NH_4Cl	0,0885	0,0801	0,0084	0,0840	0,1773	0,1789	0,00	0,00
$BaCl_2$	0,3425	0,3110	0,0315	0,3150	0,1773	0,1767	0,00	0,00
$Al_2(SO_4)_3$	0,1030	0,0935	0,0095	0,0950	0,4803	0,4950	0,00	0,00

Приведенное нами разделение понятия поглотительной способности оправдывается не только с теоретической точки зрения. Если мы представим себе почвенную систему в состоянии равновесия, то благодаря явлениям адсорбции это состояние для почвенного раствора не будет выражаться равномерным распределением концентрации во всех его частях: начиная от середины расстояния между каждыми двумя почвенными частицами концентрация раствора будет все больше и больше изменяться в ту или другую сторону по мере приближения к поверхности почвенных частиц; ни поглотительная способность в тесном смысле, ни абсорбция не должны вызывать подобной неравномерности в концентрации.

Поглотительная способность в тесном смысле основана преимущественно на реакциях взаимного обмена оснований или кислот и потому она не играет непосредственной роли в изменениях реакции среды: вместо поглощенного иона (положительного или отрицательного) в раствор должно перейти эквивалентное количество однородного по знаку иона; поэтому реакция среды в данном случае может измениться лишь в силу того, что вместо соли с известной степенью гидролитической диссоциации в растворе получится другая соль, с иной степенью этой диссоциации, или же вследствие того, что вместо более слабо электролитически диссоциированной кислоты освободится другая, более сильно диссоции-

---

* См. *П. Коссович.* К вопросу о генезисе почв и основах генетической почвенной классификации.— Журн. оп. агр., т. 7, стр. 478.

** См. *П. Коссович.* Во взаимодействии питательных солей в процессе восприятия растениями минеральной пищи.— Журн. оп. агр., т. 5, стр. 581.

К. Гедройц. Действие на растение углекислых и двууглекислых щелочей.— Журн. оп. агр., т. 6, 1905, стр. 705.

*** *A. S. Cushman.* The effect of water on rock powders.— Bull. N 92 Bureau of Chem., U. S. Depart. of Agric., 1905, p. 18.

рующая; так, например, бывает при внесении в кислую почву азотнокислого кальция: свободные гумусовые кислоты соединяются с основанием, давая нерастворимые соли, а эквивалентное количество азотной кислоты освобождается; но так как степень электролитической диссоциации у азотной кислоты значительно больше, чем у гумусовых кислот, то в растворе после прибавления азотнокислого кальция будет значительно больше водородного иона, нежели до прибавления; таким образом, реакция будет более кисла и более вредна растениям. Иначе влияют на реакцию среды явления абсорбции: мы выше видели, что коллоиды способны поглощать из раствора или положительные, или отрицательные ионы, поэтому абсорбция может непосредственно увеличивать или уменьшать количество оснований или кислот в почвенном растворе.

Далее, и в отношении питания растений, в отношении доступности растениям веществ, поглощенных тем или иным способом, существуют существенные различия: вещества, поглощенные почвой в силу абсорбции, должны быть значительно доступнее растениям и гораздо легче переходить в раствор, нежели вещества химически поглощенные; вещества же, «поглощенные» вследствие адсорбции, находятся в таком же состоянии растворения, как и вообще остальные соединения в почвенном растворе, но вместе с тем это явление, создавая области различной концентрации, играет, нужно думать, известную роль в питании растений *.

II. ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ В ПОЧВЕ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ

Мы изложили выше те теоретические основания, которые заставляют признать, что концентрация почвенного раствора должна, следуя за окружающими условиями, постоянно изменяться. Имеются ли фактические подтверждения этого? И может ли общая концентрация и концентрация отдельных питательных веществ почвенного раствора изменяться в короткое время настолько, чтобы оказывать существенное влияние на рост растений?

Что количество нитратов в почве находится в тесной зависимости от условий температуры, влажности, покрова почвы, обработки и т. д., было известно сравнительно давно, но первая систематическая работа по изучению этого вопроса, производившаяся с помощью непосредственного определения азотной кислоты в почве в различные периоды, была предпринята, насколько нам известно, лишь в 1899 г. на опытной стан-

* Заметим, что и мелкие корешки растений должны обладать способностью адсорбировать растворенные вещества и таким образом увеличивать в своей области концентрацию одних соединений и уменьшать концентрацию других.

ции в Wisconsin'e *; кроме нитратов определялось общее количество растворимых веществ в почвенном растворе электрическим методом Whitney'я, но так как результаты показали на непригодность этого способа, то исследование это было оставлено.

В 1899 г. исследования велись сравнительно в ограниченных размерах; вопрос касался влияния обработки черного пара и ирригации на образование азотной кислоты; определения делались всего 2—3 раза за вегетационный период. В 1900 г. исследование было расширено; во-первых, оно производилось на 9 делянках, занимавших площадь в 10 акров **; выяснилось влияние рода растений и способов культуры; определение нитратов с 18 апреля по 18 сентября было сделано 11 раз в разные периоды, каждый раз в четырех слоях (1-й, 2-й, 3-й и 4-й футы); во-вторых, оно производилось в цилиндрах, наполненных глинистой почвой, во все время опыта (93 дня) не поливавшейся; в части цилиндров почва не обрабатывалась, в части обрабатывалась на глубину 3 дюймов еженедельно, а в остальных — на ту же глубину раз в две недели.

Главнейшие результаты этих опытов таковы. Первое определение нитратов на делянках было сделано после оттаивания грунта, всюду оно оказалось небольшим; затем в первом слое на почве, покрытой растительностью, оно стало быстро возрастать и достигло максимума, под клевером и под клевером с овсом к 1 июня, а под маисом и картофелем к 1 июля, после чего стало быстро падать до 1 августа, когда рост растений был самый энергичный; начиная с этого времени до конца исследования (середина сентября) оно оставалось приблизительно постоянным, с общей тенденцией к подъему. Следующая табличка содержит среднее содержание нитратов (HNO_3) на всех делянках в каждом из четырех слоев в вышеупомянутые три момента (в фунтах *** на акр).

Дата	1-й фут	2-й фут	3-й фут	4-й фут	Во всех 4 слоях
18 апреля	60,4 13,4 N	56,8	79,5	55,5	252,3
2 июля	235,0 52,2 N	64,0	37,9	26,3	363,1
30 августа	61,8 13,8 N	55,7	33,3	30,9	181,6

* *F. H. King and J. A. Jeffery.* The soluble salts of cultivated soils. Wisconsin Sta. Rpt., 1899, p. 219—243.

King and A. R. Whitson. Soluble salts of cultivated soils, Wisc. Sta. Rpt., 1900, p. 204—226. *Они же:* Development and distribution of nitrates cultivated field soils. 1901, p. 210—231.

** 1 акр — почти 0,37 десятин.

*** 1 фунт равен 453,6 *г*.

Во втором слое, как видно из таблицы, количество нитратов почти не изменялось в течение исследования, а в третьем и четвертом с начала до конца вегетации убывало.

Количество нитратов под клевером и под клевером с овсом было все время меньше, нежели под маисом и картофелем; разница достигла наибольшей величины в июле.

Опыты с обработкой пара раз в неделю и раз в две недели показывают, что количество нитратов возрастает тем сильнее, чем чаще обрабатывается почва. С увеличением глубины обработки с 1 до 3 дюймов количество нитратов возрастало (опыты продолжались 258 дней), обработка же до 4 дюймов понизила количество нитратов сравнительно с обработкой до 3 дюймов. В одно и то же время почва под растениями содержит значительно меньше нитратов, нежели почва в пару. Так, при одном определении почва с растительностью содержит в верхнем слое (1-й фут) в среднем 10,88 фунтов нитратов на акр, тогда как непосредственно примыкающий пар — 473,65.

В 1901 г. кроме продолжавшихся исследований на делянках определялось влияние температуры и осенней вспашки на ход нитрификации и изменение в количестве нитратов в поле во время зимы. Периодическое определение нитратов на делянках продолжалось с 9 апреля по 2 сентября; мы приведем табличку, показывающую среднее (из всех делянок) количество нитратов в каждом из четырех слоев, в фунтах на акр, 9 апреля, 1 июля и 2 сентября:

Дата	1-й фут	2-й фут	3-й фут	4-й фут	Во всех 4 слоях
9 апреля	131,8 29,2 N	121,1	80,7	50,2	383,8
1 июля	318,4 71,2 N	54,3	27,4	22,3	422,5
2 сентября	344,7 76,6 N	51,5	46,4	30,9	473,6

Опыты с влиянием температуры продолжались 27 дней; велись они с глинистой почвой, помещенной в четыре жестяных сосуда; сосуды эти затем были помещены в чаны с водой, температура которой поддерживалась на желательной высоте; в известные дни из сосудов брались образцы и определялась азотная кислота; результаты опыта видны из таблицы:

Число	Средн. температура, F°	N нитратов в ч. на миллион сухой почвы	Средн. температура, F°	N нитратов в ч. на миллион сухой почвы	Средн. температура, F°	N нитратов в ч. на миллион сухой почвы	Средн. температура, F°	N нитратов в ч на миллион сухой почвы
Апрель								
11	—	2,2285	—	2,3035	—	2,3440	—	2,3175
12	34,1	2,3720	48,0	2,4795	68,7	2,9735	86,3	3,8230
15	38,5	2,6850	47,1	3,2655	66,6	4,2480	85,7	5,5685
17	41,5	3,4845	47,2	4,5470	63,5	5,1010	89,7	7,7000
19	33,5	4,5810	48,0	5,5705	61,5	6,1460	93,7	10,4600
22	33,0	4,8030	47,8	5,7505	63,6	7,2015	93,0	15,1600
24	34,0	4,8520	47,3	5,8660	65,2	8,4207	91,4	17,5500
26	33,0	5,0135	48,1	6,4480	70,25	9,2050	91,4	19,7600
29	33,9	5,4225	48,7	6,8245	74,00	9,2085	93,8	20,6705
Май								
1	33,8	6,3850	49,2	7,2315	75,85	11,6500	92,3	22,9800
8	34,0	6,5310	51,1	7,6995	76,8	14,1600	88,9	29,1200

Выражая скорость нитрификации количеством нитратного азота в частях на миллион[1] сухой почвы, образовавшегося за один день, получим, что скорость эта при разных температурых будет следующая:

при 35° F ($1^2/_3$° C)	при 48° F ($8^8/_9$° C)	при 68° F (20° C)	при 90° F ($36^2/_3$° C)
0,1593	0,1999	0,4376	0,9927

Для определения изменения в содержании нитратов за зиму было произведено исследование почвы каждого фута всех девяти делянок 29 ноября 1900 г. и 9 апреля 1901 г.; в течение этого времени грунт был замерзшим. На всех делянках и во всех слоях оказалась прибыль в азоте, исключая четырех случаев (из 36); мы приведем только среднее увеличение для всех делянок:

Среднее увеличение нитратов за зиму	1-й фут	2-й фут	3-й фут	4-й фут	В 4 футах
В частях на миллион	8,724	7,028	5,13	0,7855	—
В фунтах на акр	23,90	28,35	23,13	3,64	79,27

Изучение влияния осенней вспашки показало, что эта вспашка увеличивает в почве количество нитратов; так, за 42 дня, с 19 августа по 30 сентября, на вспаханной площади количество нитратов увеличилось

[1] Части на миллион (в английском тексте: р. р. т.) — т. е. миллиграммы на 1 *кг* сухой почвы.— *Прим. ред.*

на 148,56 фунтов на акр, а на невспаханной всего лишь на 113,92 фунтов.

В другом опыте с осенней вспашкой определение нитратов как только почва замерзла и весною (12 акров) дало увеличение нитратов за этот период для вспаханной почвы в 183,53 фунтов на акр, а для невспаханной всего лишь 160,71 фунтов, но затем (определение 29 апреля) картина изменилась: на вспаханной площади количество нитратов увеличилось за этот период на 327,97 фунтов, а на невспаханной на 355,52 фунтов.

В 1900 г. опытная станция в Канаде * произвела ежемесячное (с мая по ноябрь) определение количества нитратов и нитритов на двух разных почвах в пару и под растением; результаты получились следующие (N в частях на миллион сухой почвы):

Почва I			Почва II		
Время исследования	Пар в 1900 г., под растением в 1899 г.	Под растением в 1900 г., пар в 1899 г.	Время исследования	Пар в 1900 г., под растением в 1899 г.	Под растением в 1900 г., пар в 1899 г.
11 мая	10,62	11,45	8 мая	3,37	16,22
11 июня	15,21	28,20	8 июня	6,93	25,70
11 июля	10,99	7,65	8 июля	22,30	20,00
11 августа	17,94	8,42	8 августа	22,70	17,20
11 сентября	10,94	5,51	8 сентября	16,71	7,20
11 октября	4,55	7,91	8 октября	12,20	7,32
11 ноября	2,53	6,40	8 ноября	3,99	3,97

Отметим далее статью С. Третьякова «Содержание нитратного азота в почве в зависимости от ее культурного состояния» **. Автор на основании результатов определения в почве нитратов показывает, во-первых, что зависимость, существующая между временем подъема на зябь и двоения поля и получаемыми урожаями обусловливается количеством образующихся в почве нитратов; во-вторых, что культура бобовых повышает содержание в почве растворимых азотистых соединений, главным образом содержание аммиачного азота; в-третьих, что культура пропашных способствует накоплению нитратов в почве, и, в-четвертых, что в районе Полтавского опытного поля содержание нитратов наряду с содержанием воды в почве обусловливает высоту урожая.

В 1905 г. F. King опубликовал обширное исследование, произведенное опытными станциями Северо-Американских Соединенных Штатов; в нем, между прочим, имеются и наблюдения над содержанием нитратов в различных почвах в различное время вегетационного периода;

---

* *F. T. Shutt.* Nitrification in northwestsoils.— Canada Expt. Farms Rpts., 1900, p. 159—161; цит. по Exper. Sta. Record, T. XIII, p. 231.

** Журн. оп. агр., т. 3, 1902, стр. 580—603.

так как наблюдения эти находятся в связи с определением и других воднорастворимых соединений почвы, то мы скажем о них ниже.

В самое последнее время появилась работа В. И. Сазанова с Ивановской опытной станции г. Харитоненко «Количество азотнокислых солей в черноземных почвах в течение вегетационного периода и в зависимости от времени вспашки, количества навоза и посева растений на зеленое удобрение»*.

Приведем из этой статьи прежде всего результаты периодического определения нитратов в 1904 и 1905 гг. на суглинистом черноземе, оставшемся без растительности:

1904 г. Пахотный слой 0—8 вершков			1905 г. Пахотный слой 0—8 вершков, подпахотный слой 8—16 вершков			
время взятия образца		нитратов в частях на миллион сухой почвы	время взятия образца		нитратов в частях на миллион сухой почвы	
Апрель	21	2,7	Май	16	7,6	4,7
Май	1	1,9	»	24	10,8	6,1
»	8	5,3	Июнь	4	14,3	5,3
»	22	6,6	»	14	19,3	6,3
»	29	8,0	»	24	19,5	7,4
Июнь	1	6,7	Июль	4	22,6	7,1
»	12	4,8	»	14	24,2	5,6
»	1	6,9	»	23	27,2	5,2
»	25	13,2	Август	4	28,5	7,0
Июль	1	11,8	»	16	29,1	9,1
»	8	30,4	»	26	21,1	7,4
»	16	19,0	Сентябрь	15	17,4	9,0
»	23	19,1				
»	30	26,4				
Август	7	19,2				
»	21	24,6				
Октябрь	4	30,2				

Если сравним эти данные с результатами исследования опытной станции в Wisconsin'е и в Канаде, то увидим, что изменения в содержании нитратов в течение вегетационного периода в общем имеют одинаковый характер: раннею весною их в почве мало, затем их количество начинает возрастать к середине или к концу лета, после чего снова падает; полного совпадения, конечно, нет, и быть не может.

Далее В. Сазанов приводит исследование количества нитратов в разного рода парах: для паров с разновременной вспашкой количество нитратов больше при более раннем взмете, и легкое раннее рыхление

* Вестн. сельского хозяйства, 1906, № 27, стр. 5—9.

июньского пара ослабляет вред такой поздней вспашки; таким образом, эти данные, так же как и данные С. Третьякова, указывают на важное значение рациональной обработки для процессов нитрификации. Исследование нитратов в парах, удобренных различными количествами навоза, показало, что ко времени посева озимых навоз не увеличивает заметно запаса нитратов. Наконец, автор определил содержание нитратов в парах: под свеклу, в неудобренном, удобренном навозом и удобренном зеленым удобрением (горчица, бобы, горох и бобы, люпин); зеленое удобрение было запахано в конце июня и в начале июля, а исследование нитратов производилось 24 июля; результаты показали, что «растения, посеянные и затем запаханные на зеленое удобрение, в том числе и бобовые, помимо иссушающего действия, ко времени своей уборки сильно обедняют почву удобоусвояемым азотом нитратов».

Приведенная литература показывает, что хотя данных непосредственного определения количества нитратов в почве в зависимости от окружающих условий еще и недостаточно для общих выводов, но тем не менее вопрос этот уже поставлен на очередь. Иначе дело обстоит с остальными минеральными составными частями почвенных растворов; сама идея об изменяемости их концентрации в зависимости от метеорологических условий и культуры и о возможности уловить эти изменения мало еще распространена среди исследователей; доказательством этому служит не только почти полное отсутствие работ в этом направлении, но также и те многочисленные попытки отыскать такой растворитель, который на основании анализа единичного образца почвы указывал бы степень ее плодородия; некоторые же агрикультурхимики высказывают даже определенно обратный взгляд о неизменяемости концентрации питательных веществ в почвенных растворах. Насколько нам известно, до сих пор появились лишь две работы, имеющие отношение к интересующему нас вопросу *.

В 1904 г. появилась статья С. Кравкова **; в главе «К вопросу о содержании в почве растворимых в воде солей в зависимости от различных условий» автор приводит результаты периодического определения водорастворимых (водная вытяжка, 500 *г* почвы и 1 *л* воды, 48-часовое стояние) солей в почвах с двух полей, дренированного и недренированного; исследование продолжалось около 1,5 года. В нижеследующей таблице мы приводим полученные автором результаты ***.

В приведенных данных одна лишь цифра выделяется среди других, а именно содержание водорастворимых веществ в почве дренирован-

---

* Мы не останавливаемся на попытках, сделанных в 1899 и 1900 гг. Wisconsin'ской опытной станцией определять периодически концентрацию почвенных растворов электрическим методом Whitney'a, так как метод этот не мог дать более или менее надежных цифр.

** *С. Кравков.* Из сельскохозяйственных и геоботанических наблюдений.— Земледельч. газета, 1904, стр. 641—645, 674—679.

*** Автор, к сожалению, не указывает, какую часть фильтрата он брал для определения сухого остатка, так что перечислить его числа на проценты не можем.

Количество твердых веществ в фильтрате, *г*

Поле	28 ноября	24 декабря	30 января	18 марта	6 апреля	12 апреля	10 мая	31 мая	21 июня	22 июля	20 августа
Дренированное	0,132	0,132	0,132	0.133	0,110	0,219	0,120	0,131	0,130	0,130	0,131
Недренированное	0,110	0,111	0,102	0,112	0,110	0,110	0,111	0,110	0,110	0.109	0,110

ного поля в апреле; все же остальные мало отличаются между собою — быть может не больше, чем параллельные определения или определения в разных образцах почвы, взятых одновременно на некотором расстоянии один от другого (автор, к сожалению, не приводит в статье данных, на основании которых мы могли бы судить о точности его определений и об однородности исследовавшихся им почв в отношении воднорастворимых солей). Действительно ли количество воднорастворимых солей исследованных полей мало изменяется в зависимости от окружающих условий, как показывают приведенные результаты, работа автора не дает возможности решить, так как неизвестно, через сколько времени после взятия образца производилось его исследование; в статье имеется лишь глухое указание на то, что анализы производились не сейчас после взятия образца: «ввиду того, что я не имел возможности производить все эти анализы на месте,— мною собирались только образцы почвы, а анализы производились позднее»; между тем, точное знание этого обстоятельства играет решающую роль в оценке полученных результатов.

В 1905 г. была опубликована F. King'ом * коллективная работа многих лиц и опытных станций Северо-Американских Соединенных Штатов, произведенная в 1902 и 1903 гг.; цель работы заключалась в определении количеств воднорастворимых солей, извлекаемых из почв различных типов, в отыскании отношения между этими количествами и урожайностью почв и, наконец, в изучении влияния климатических условий на урожайность почв. Книга содержит массу чрезвычайно интересного материала, к сожалению, почти необработанного; в ней, между прочим, имеются данные и по рассматриваемому нами вопросу, а именно, приведено: 1) содержание отрицательных ионов (NO_3, HPO_4, SO_4, HCO_3, Cl и SiO_3) в водных вытяжках из каждого из четырех верхних футов трех типов почв в апреле, мае, июне, июле, августе и сентябре; 2) содержание тех же ионов в водной вытяжке из каждого из четырех верхних футов одной почвы 9, 14 и 19 июля; 3) то же для верхнего слоя в 4 фута четырех типов почв 29 мая и 3 сентября; 4) содержание тех же отрицательных ионов и, кроме того некоторых положительных (K, Ca, Mg) в водных вытяжках из верхнего слоя в 4 фута из восьми типов

* *F. H. King*. Investigations in soil management.— Bull. N 26 Bureau of Soils U. S. Depart. of Agric., 1905, p. 205.

почв 29 апреля, 24 июня и 24 августа. Из приводимых данных автор книги не делает никаких выводов о состоянии легкорастворимых соединений в почве в зависимости от времени; насколько можно судить, все эти определения были сделаны только для вывода среднего содержания в почвах воднорастворимых солей, так как очевидно, что при тех колебаниях в количестве этих веществ, какие могут наблюдаться в почве в зависимости от времени взятия образца, единичный анализ не может дать более или менее правильного представления о богатстве почвы воднорастворимыми соединениями.

В нижеследующей таблице мы приведем часть из имеющегося у King'а материала по интересующему нас вопросу, а именно результаты исследования только верхнего фута трех почв опытной станции Goldsboro.

Содержание в верхнем футе воднорастворимых солей (1902 г.)

(в частях на миллион сухой почвы)

Почва	Месяц	Влажность, %	NO_3	HPO_4	SO_4	HCO_3	Cl	SO_3
Тяжелый суглинок из-под картофеля	Апрель	14,7	41,15	12,72	144,98	30,80	52,44	8,47
	Май	10,5	22,70	6,67	62,84	12,03	17,40	5,53
	Июнь	7,5	24,10	12,50	79,01	5,94	36,06	1,78
	Июль	10,3	19,80	9,08	62,10	8,13	28,36	4,03
	Август	13,3	47,65	6,26	106,47	8,47	44,06	5,16
	Сентябрь	9,2	110,00	4,48	122,78	16,07	35,14	3,26
Песчаная почва из-под хлопка	Апрель	10,1	28,70	18,20	94,09	—	—	1,46
	Май	9,1	50,00	10,56	57,78	9,08	13,59	1,99
	Июнь	6,9	37,85	9,86	54,72	7,87	20,64	2,48
	Июль	3,4	2,99	10,21	26,78	16,38	13,17	1,86
	Август	5,3	2,54	0,72	8,11	10,30	8,22	0,35
	Сентябрь	3,7	1,30	2,88	96,00	7,62	4,42	2,39
Песчаный суглинок из-под хлопка	Апрель	11,2	5,08	19,21	32,40	22,56	38,95	4,46
	Май	9,4	10,82	5,74	48,71	2,92	20,62	2,17
	Июнь	10,2	13,89	8,85	33,24	5,86	34,11	1,33
	Июль	8,7	4,29	6,51	35,91	9,93	26,34	1,79
	Август	9,3	4,00	2,24	11,00	6,69	29,72	0,00
	Сентябрь	7,8	3,18	2,21	43,60	13,21	32,60	2,48
Тяжелый суглинок	Июль 9	—	18,61	7,33	36,6	7,03	19,42	3,60
	» 14	—	27,28	7,10	42,40	4,01	19,42	3,16
	» 19	—	35,85	8,40	38,70	2,67	13,98	3,87

На основании материала, приведенного в цитируемой книге, можно сделать следующие выводы.

Количество каждого из определявшихся в водной вытяжке веществ сильно изменяется в зависимости от времени взятия образцов почвы; даже в такой сравнительно короткий промежуток времени, как с 9 по 19 июля (см. последнюю почву в таблице на стр. 30), содержание в водной вытяжке NO_3, HCO_3 и Cl сильно изменилось.

Исследование в отдельности каждого из четырех верхних футов почвы показывает, что изменяемость, в зависимости от времени, количест-

ва водорастворимых солей имеет место во всех четырех этих слоях, причем так как количество веществ, растворимых в воде, в общем убывает в почве сверху вниз, то наибольшая амплитуда колебаний, выраженная в абсолютных числах, в общем также уменьшается при переходе от верхних к нижележащим слоям, но если эту амплитуду выразить в процентах от наименьшего количества вещества, то определенной зависимости ее величины от глубины слоя не замечается.

Зависимость от времени для разных составных частей водной вытяжки сказывается неодинаково; сильнее всего она оказалась выраженной для NO_3: в одной из почв разность между наибольшим и наименьшим содержанием этого вещества, выраженная в процентах от наименьшего, 3000%; для HPO_4, HCO_3 и SO_3 она почти достигает 3000%, для SO_4 — почти 1500%, для Cl — около 500%, для Ca — около 200, для K и Mg — около 100%.

Сравнение хода изменения количества водорастворимых веществ в отдельных слоях каждой почвы между собою показывает, что содержание фосфорной кислоты изменяется во всех слоях почти параллельно; для остальных веществ, особенно для серной кислоты, такого параллелизма вообще не наблюдается.

Сопоставление содержания в почве водорастворимых соединений с температурой, влажностью почвы и количеством атмосферных осадков, где это можно было сделать на основании данных King'а, не привело нас к обнаружению какой-либо закономерности между этими величинами.

С 1903 г. нами было предпринято исследование изменяемости в содержании легкорастворимой фосфорной кислоты и общего количества водорастворимых соединений в почве имения «Алексеевское», Тульской губ., Чернского уезда. К изложению результатов этого исследования мы теперь и перейдем.

Нам не раз приходилось наблюдать при вегетационных опытах, что потребность почвы в питательных веществах из года в год не остается одной и той же, несмотря на то, что почвы брались с одних и тех же мест и не подвергались на месте каким-либо искусственным изменениям; мы видели, что и количество доступной растениям фосфорной кислоты в одной и той же почве не остается постоянным; поэтому мы в статье «Химические методы определения плодородия почвы по отношению к фосфорной кислоте» * указывали на то, что недостаточно знать, сколько почва содержит в данный момент легкорастворимой фосфорной кислоты, а необходимо, кроме того, изучить, насколько это количество может меняться в зависимости от различных условий. К сожалению, почвенные условия места, занимаемого сельскохозяйственной лабораторией, для этой цели совершенно неподходящи (бедность почвы гумусом, крупнозернистость, а главное — чрезвычайная пестрота в содержании доступной растениям фосфорной кислоты на самых близких расстояниях); начать исследование нам удалось лишь с осени 1903 г., бла-

* Журн. оп. агр., т. 4, 1903, стр. 403.

годаря любезному предложению А. П. Левицкого выслать из имения «Алексеевское» необходимые почвенные образцы для анализа и вегетационных опытов.

Для аналитического исследования количеств легкорастворимых соединений почвенные образцы брались в определенные сроки (см. табл. на стр. 35) из двух мест имения. Во-первых, из плодового питомника, находящегося при усадьбе; место это лет 8—10 тому назад находилось под люцерной, с того же времени оставалось без эксплуатации; с начала исследования до конца почва в этом месте оставалась без растительного покрова, который все время удалялся подрезкой; никакой обработке почва не подвергалась; в соответствующее время отсюда брался образец фунтов 20 на глубину 3 вершка. Во-вторых, в те же сроки брались образцы с поля № 1 (десятина № 11), находящегося в севообороте, с места, очень близко отстоящего от питомника; во все время исследования место это находилось в тех же условиях, что и остальное поле. Почва в том и другом месте — чернозем, верхний слой А мощностью в 10 вершков, слой В — 14 вершков, подпочва — лёссовидная глина с журавчиками. Таким образом, анализу подвергались, с одной стороны, образцы, бравшиеся с места, лишенного вовсе растительности и не подвергавшегося никакой обработке, с другой стороны,— с места, находившегося под полевой культурой, причем в начале исследования (сентябрь 1903 г.) поле вышло из-под овса, лето следующего года (1904) оставалось под паром, а на следующий год (1905) поступило под картофель.

Для вегетационных опытов почва бралась с третьего места, опыты эти еще не закончены, и в настоящей статье мы будем говорить о содержании в почве в различные периоды легкорастворимых соединений, насколько это обнаруживается лишь химическим анализом.

В своем исследовании мы остановились на определении изменяемости в содержании почвою фосфорной кислоты, растворимой в 2%-ной уксуснокислой и 2%-ной лимоннокислой вытяжках, и общего количества минеральных и органических соединений, извлекаемых из почвы водою; более детального исследования водной вытяжки мы не предпринимали, так как считаем весовой анализ не настолько чувствительным, чтобы им можно было уловить с той точностью, которая требуется при этом, колебания во времени в содержании почвою воднорастворимых отдельных элементов; колориметрические же методы, чрезвычайно пригодные для этой цели, к тому времени, когда мы начали наше исследование, были еще мало разработаны и проверены; только в самое последнее время они достигли требуемого для этого совершенства *.

Относительно методики исследования мы должны заметить следующее. Подготовку почвы к анализу и приготовление вытяжек во все время исследования мы стремились производить по возможности тождественно. Тотчас по получении образцы почвы приводились в воздушно-

* Подробное описание этих методов составлено недавно: *O. Schneiner a. G. Failyer.* «Colorimetric, turbidity and titration method used in soil investigations».— Bull. N 31

сухое состояние *, для чего раскладывались в лаборатории на три дня, затем каждый образец просевался через сито в 1 *мм* при легком растирании деревянным пестиком (почва всегда проходила через сито без остатка) и поступал для приготовления вытяжек; для уксуснокислых и водных вытяжек мы брали навеску в 1 *кг*, для лимоннокислой в 120 *г*; навески помещались в соответствующие бутыли; в бутыль для уксуснокислой вытяжки приливалось 4 *л* дистиллированной воды и 100 *см*³ 82%-ной уксусной кислоты **, в бутыль для водной вытяжки — 4 *л* дистиллированной воды, в бутыль для лимоннокислой вытяжки — 600 *см*³ 2%-ной лимонной кислоты ***; бутыли оставлялись на 24 часа, причем в течение первых 11 час. и последних 3 час. ежечасно сильно взбалтывались: с лимоннокислыми вытяжками 5 мин. на вращающемся аппарате, а с уксуснокислыми и водными — руками 1 мин.; через 24 часа вытяжки отфильтровывались и соответствующий объем жидкости подвергался выпариванию: уксуснокислой в. 3075 *см*³ (750 *г* почвы), водной в. 3000 *см*³ (750 *г* почвы) и лимоннокислой в. 475 *см*³ (95 *г* почвы); остаток от выпаривания уксусно- и лимоннокислых вытяжек, после сжигания царской водкой органического вещества и лимонной кислоты и переведения кремневой кислоты в нерастворимое состояние, растворялся в слабой азотной кислоте, отфильтровывался, и в фильтрате определялась фос-

---

Bereau of Soils. Подробный реферат этой брошюры см. Журн. оп. агр., т. 7, 1906, стр. 338.

* Почва, приведенная в воздушно-сухое состояние, может содержать несколько иное количество легкорастворимых соединений, нежели почва первоначальная; высушивание почвы при более высокой температуре может уже сильно изменить количество этих соединений; так, например, по данным King'a (Investigaiton in soil management.— Bull. N 26 Bureau of Soils U. S. Depart. of Agric., 1905, p. 55), одна из исследованных в этом направлении почв при анализе водной вытяжки показала:

Воднорастворимые соли в частях на миллион сухой почвы

Почва	NO_3	HPO_4	SO_4	HCO_3	Cl	SiO_3	Общая сумма отрицательных ионов
Первоначальная	6,48	5,67	14,00	5,08	8,84	1,37	41,44
Просушенная при 110°	6,45	13,39	39,72	9,47	7,33	7,80	84,16

Конечно, высушивание до воздушко-сухого состояния не может так сильно изменить количество воднорастворимых солей, но во всяком случае сушка должна была отразиться так или иначе; но тем не менее мы все-таки предпочли доводить почву предварительно до воздушно-сухого состояния, так как все равно мы имели дело не с первоначальной почвой: образцы находились в дороге довольно продолжительное время и притом неодинаковое, и нам казалось, что приведением всех образцов в воздушно-сухое состояние и растиранием их мы достигали более однообразных условий.

** Кислота была заготовлена в достаточном количестве при начале исследования; таким образом, во все время исследований бралось по 100 *см*³ кислоты из одного и того же запаса, хранившегося в бутыли с притертой пробкой.

*** Лимонная кислота бралась также все время из одного и того же образца, хранившегося в банке с притертой пробкой.

форная кислота обычным молибденовым способом; остаток после выпаривания водной вытяжки просушивался в шкафу при 105° в течение 2 час. и взвешивался для определения суммы водорастворимых минеральных и органических веществ; после этого остаток обжигался до полного удаления органического вещества; вес показывал количество минеральных веществ, растворяющихся в воде.

Во всех случаях каждое определение для контроля производилось два раза; кроме того, в течение исследования два раза (1 ноября 1904 г. и 1 июля 1905 г.) из питомника и с поля было взято не по одному, а по два образца на расстоянии один от другого, приблизительно равном тому, которое отделяло место взятия первого образца (1 сентября 1903 г.) от места взятия последнего (1 ноября 1904 г. и 1 июля 1905 г.); сделано это было с целью определить те колебания в содержании фосфорной кислоты и суммы водорастворимых веществ, которые могут быть отнесены на неполное тождество почвы в разных пунктах исследуемых площадей. Наибольшая разность между процентным содержанием повторных определений при анализах вытяжек из одного и того же образца и разных образцов, взятых одновременно вблизи один от другого, была следующая: для фосфорной кислоты, растворимой в 2%-ной уксусной кислоте,— 0,0004%, т. е. отклонение от среднего — 0,0002%, растворимой в 2%-ной лимонной кислоте — 0,0008%, т. е. отклонение от среднего — 0,0004%; для минеральных веществ, растворимых в воде, — 0,003% (наибольшее отклонение от среднего 0,0015%).

В таблице на стр. 35 мы приводим содержание фосфорной кислоты, растворимой в 2%-ной уксусной и 2%-ной лимонной кислотах, содержание минеральных и органических веществ, извлекаемых водою из двух исследовавшихся почв; первый столбец таблицы показывает время взятия образца; анализы производились тотчас по получении образцов, т. е. в среднем дней через 15 после взятия; кроме этих данных нами определялась еще два раза в каждой из почв (1 сентября 1903 г. и 1 мая 1904 г.) фосфорная кислота в 10%-ной солянокислой вытяжке: все полученные числа различались в пределах аналитической ошибки и в среднем дали 0,153% на сухую почву; кроме того, в образцах 1 ноября 1903 г. мы определили весовым путем водорастворимую фосфорную кислоту (вытяжка 16 *л* воды из 4 *кг* почвы): почва из питомника дала 1,4 и 1,6 частей на миллион частей сухой почвы, или в среднем 1,5, а полевая почва 0,8 и 1,1 частей на миллион частей сухой почвы, в среднем 0,95.

Мы здесь не приводим метеорологических данных за период нашего исследования, любезно сообщенных нам П. И. Левицким, так как сопоставление их с полученными результатами не обнаруживает никакой закономерности; то же отсутствие прямой зависимости между температурой, атмосферными осадками, влажностью почвы, с одной стороны, и изменяемостью в содержании почвою водорастворимых соединений имеет место и в выше приведенных американских исследованиях; конечно, зависимость от этих элементов должна существовать, но, во-первых, со-

Почвы из имения «Алексеевское» Тульской губ., Чернского уезда

Из миллиона частей сухой почвы извлечено частей

Дата	Фосфорная кислота (P_2O_5)				Минеральные вещества (водою)		Органические вещества (водою)	
	2%-ной уксусной кислотой		2%-ной лимонной кислотой					
	I. почва питомника	II. почва с поля	I. почва питомника	II. почва с поля	I. почва питомника	II. почва с поля	I. почва питомника	II. почва с поля
1903 г. 1 сентября	32	14	181	98	Не определялось			
1 ноября	23	22	121	123	» »			
1904 г. 6 февраля	22	28	142	147	425	446	342	345
2 апреля	17	24	102	142	657	335	354	278
1 июня	16	21	136	158	386	247	298	328
1 июля	22	24	150	170	Не определялось			
1 сентября	18	27	102	126	» »			
1 октября	17	30	117	169	» »			
1 ноября	24	14	158	123	761	647	572	495
1905 г. 1 января	17	23	109	136	598	329	449	288
1 февраля	44	24	173	131	484	288	281	231
1 марта	46	22	191	138	592	346	280	295
1 мая	21	24	232	299	318	323	400	411
1 июля	17	18	193	200	383	303	376	301
1 августа	26	20	150	122	501	392	380	365
1 октября	20	18	128	122	465	677	300	344
1 ноября	18	25	105	123	411	334	282	273
Среднее из всех определений	24	22	145	151	499	389	359	329

стояние легкорастворимых соединений почвы зависит и от многих других условий: из них на первом месте нужно поставить содержание в почвенном воздухе углекислоты, роль которой мы выше рассмотрели; далее, влияют на это состояние вертикальное и горизонтальное движения растворов, деятельность низших организмов, а на почве, покрытой растительностью, и деятельность самих растений; во-вторых, зависимость эта, по всей вероятности, чрезвычайно сложна; мы думаем, что произведенные уже исследования наглядно показывают, что для отыскания ее недостаточно одного исследования, а необходим кроме того всесторонний опыт.

Во всяком случае тот материал, которым мы располагаем, определенно устанавливает, что количество водорастворимых соединений, как минеральных, так и органических, в почве сильно изменяется во времени; так, при наших исследованиях наивысшее содержание воднорастворимых минеральных веществ для почвы, не покрытой растительностью, больше чем в два раза превышает наименьшее содержание их за исследованный период (761 и 318 частей на миллион частей сухой почвы), и для покрытой растительностью в 2,5 раза; приблизительно то же имеем и для воднорастворимых органических веществ; отклонение от средней из всех определений для каждого случая достигает более 50%. Резуль-

тат этот показывает, что единичные водные вытяжки из почв далеко не характеризуют состояния водорастворимых соединений; если к тому же принять еще во внимание, что изменяемость в количествах отдельных водорастворимых веществ вообще не совпадает между собою (что видно из данных, опубликованных King'ом), будет ясно, что сказанное относительно общего содержания водорастворимых солей еще в большей степени относится к содержанию в водной вытяжке отдельных веществ, и, действительно, из приведенных раньше американских данных видно, что их содержание чрезвычайно сильно изменяется в зависимости от времени взятия образца; таким образом, *чтобы содержание водорастворимых соединений почвы действительно характеризовало бы почву, необходим анализ не одного образца этой почвы, а целого ряда их, взятых в различное время.*

Далее, установленный приведенными исследованиями факт непостоянства во времени содержания в почве водорастворимых соединений, мы, очевидно, в праве распространить и на почвенные растворы и сказать, что анализ подтверждает сделанный раньше теоретический вывод о непостоянстве в составе и концентрации почвенного раствора; конечно, мы не думаем, чтобы существовал между изменяемостью состава и концентрации водных вытяжек и почвенных растворов полный параллелизм, кривые изменяемости в обоих этих случаях могут и сильно различаться между собою.

Наши исследования уксусно- и лимоннорастворимой фосфорной кислоты в почве в разные периоды показывают, что и более сильные растворители, нежели вода, извлекают в разное время из почвы неодинаковые количества веществ: наибольшее количество уксуснорастворимой фосфорной кислоты, найденное нами в почве без растительности, превосходит наименьшее почти в три раза (46 и 16 частей на миллион частей сухой почвы), а в почве, покрытой растениями, в два раза (30 и 14); наивысшее содержание лимоннорастворимой фосфорной кислоты превосходит наименьшее ее содержание в почве без растительности в два раза с лишком, а в почве, покрытой растительностью, почти в три раза (232 и 102, 299 и 98).

Итак, содержание в почве легкорастворимых соединений, подобно водорастворимым, также не есть что-либо неизменное в течение даже довольно короткого промежутка времени; анализ единичного образца указывает, таким образом, только на содержание исследуемого вещества в почве в то время, когда образец брался, а вовсе не характеризует исследуемую почву вообще; уже через месяц содержание это может сильно измениться; так, например, у нас в почве 1 октября 1904 г. содержалось 30, а уже 1 ноября всего 14 частей уксуснорастворимой P_2O_5 на миллион частей сухой почвы, а в почве питомника 1 января 1905 г.— 17, а 1 февраля — 44.

В заключение приношу глубокую благодарность П. И. Левицкому и А. П. Левицкому за оказанное ими содействие в выполнении моих исследований.

НА КАКИХ ПОЧВАХ ДЕЙСТВУЕТ ФОСФОРИТ. ПОЧВЫ НАСЫЩЕННЫЕ И НЕНАСЫЩЕННЫЕ ОСНОВАНИЯМИ [1]

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ЗАМЕТКА

Материал, содержащий питательные для растения вещества, только тогда может получить практическое применение как удобрительный тук, только тогда должен быть пропагандирован для целей удобрения, когда выяснены и изучены ближайшие условия его действия; распространение удобрений, недостаточно изученных, ведет лишь к нежелательным последствиям. Фосфориты должны быть отнесены к таким, именно недостаточно изученным еще тукам, так как мы знаем, что они действуют лишь на некоторых почвах, но на каких именно — до сих пор с достоверностью указать не в состоянии; само собой разумеется, что пропаганда фосфоритов возможна лишь тогда, когда можно будет определенно указать, на каких именно почвах применение их будет давать положительный и экономически выгодный эффект; без этого условия всякая попытка распространить фосфориты будет введением сельских хозяев в невыгодную сделку и окончится, конечно, полной неудачей [2].

Фосфорная кислота находится в фосфоритах в виде соединений с известью; соединение это представляет собою не трехкальциевый фосфат, а принадлежит к этому же типу; дело в том, что химически определенными соединениями фосфорной кислоты и извести являются лишь одно- и двукальциевые фосфаты; при большем же относительном содержании извести, нежели в последнем фосфате, мы получаем уже неопределенные соединения, в данном случае твердые растворы фосфорной кислоты и извести с различным отношением между $CaO : P_2O_5$, но бо́льшим, чем в двукальциевом фосфате, и все увеличивающимся с увеличением количества извести, воздействующей на фосфорную кислоту; при известном отношении между воздействующими веществами получается твердый раствор, соответствующий формуле $Ca_3(PO_4)_2$, а при избытке извести будем иметь твердые растворы, содержащие больше извести, нежели это соответствует выше приведенной формуле; в аморфных фосфоритах, всегда содержащих больше или меньше углекислого кальция, по всей вероятности, находятся именно такие твердые растворы

---

[1] Воспроизводится по статье, опубликованной в «Журнале опытной агрономии», т. 12, кн. 4, 1911.

[2] Оценка фосфоритов как удобрения дается К. К. Гедройцем применительно к условиям тогдашнего времени.— *Прим. ред.*

извести и фосфорной кислоты, в которых относительные количества основания больше, нежели в $Ca_3(PO_4)_2$.

Эта большая основность фосфорнокислых соединений фосфорита и сравнительная древность их происхождения делает их фосфорную кислоту почти или вовсе не доступной.растениям, корневая система которых обладает малой растворяющей способностью. Для таких растений фосфорная кислота фосфорита может стать доступной лишь при условии разлагающего на фосфорит действия почвы; почва должна отнять от фосфорита часть извести, переводя его форфорнокислые соединения в соединения более кислого характера (в двукальциевый фосфат, а быть может для усвояемости растениями достаточно и превращение в более основные, нежели двукальциевый, но более кислые, нежели трехкальцивый фосфат). Какими же свойствами должна обладать почва, чтобы воздействовать таким образом на фосфорнокислые соединения почвы?

Если свести вместе все то, что по этому вопросу высказано Энгельгардом и другими исследователями фосфоритов как удобрительного тука, то придем к следующему. Фосфориты действуют на почвах северных, подзолистого характера; но далеко не все последние почвы отзывчивы на этот тук; для этого почвы эти должны обладать кислой реакцией; Энгельгардом между прочим, выдвинут и другой признак — степень культурного состояния почвы; из его опытов следует, что фосфорит действует преимущественно на почвах новых, вновь разделанных, и не действует на почвах старопахотных и упаваживавшихся. Таковы признаки отзывчивости почв на фосфориты, указываемые исследователями. Но ни один из этих признаков не имеет абсолютного значения: можно указать почвы, которые при пробе лакмусовой бумажкой и при исследовании водной вытяжки индикаторами совершенно нейтральны и на которых, однако, фосфорит ясно действует; можно указать далее почвы, давно уже поступившие в культуру и периодически правильно унаваживавшиеся, на которых между тем фосфорит повышает урожаи. Все это указывает на то, что существует более общая причина, которая до сих пор не установлена исследователями.

Нам в последнее время пришлось натолкнуться на ряд почв, которые, несмотря на отсутствие у них вышеуказанных признаков (кислотности и невыпаханности), были отзывчивы на фосфорит; это обстоятельство в связи с некоторыми нашими исследованиями по поглощению коллоидальными веществами почв привели нас к заключению, что, по всей вероятности, отзывчивость почв на фосфорит есть следствие особого характера поглотительной способности таких почв. Для выяснения этого вопроса остановимся на понятиях о гумусе, насыщенном и ненасыщенном основаниями, и о почвах, насыщенных и ненасыщенных основаниями.

Как известно, в настоящее время во взглядах на природу органического вещества почвы происходит коренной переворот. Твердо установленное, казалось бы, положение о существовании в почвах определенных органических соединений, различных гумусовых кислот и их солей, все больше и больше подвергается критике; еще в 1888 г. поя-

вилась статья Van-Bemmelen'a *, в которой автор на основании имевшихся тогда данных обосновывает свой взгляд на органические вещества почвы, как на вещества аморфные и коллоидальные, обладающие большой поглотительной способностью и дающие с различными минеральными соединениями не химические, а неопределенного состава «абсорпционные[1] соединения»; «эти гумусовые вещества,— говорит Van-Bemmelen про органические вещества,— получаемые действием воды или разбавленной щелочи на почву, образуют абсорпционные соединения с кислотами и солями и легче всего с основаниями, почему они раньше и были названы гумусовыми кислотами».

Эти взгляды Van-Bemmelen'a долгое время не находили последователей и лишь в последнее десятилетие, благодаря большим успехам коллоидальной химии, стали быстро проникать в почвоведение; но вместе с этим должно отметить, что хотя у многих современных исследователей гумусовые кислоты и их соли называются не иначе, как с прибавкой «так называемые», но дальнейшего экспериментального обоснования взглядов Van-Bemmelen'a до самого последнего времени в почвенной литературе не встречалось; лишь в недавно появившейся обстоятельной работе A. Baumann'a и E. Gully ** мы видим дальнейший шаг в развитии и обосновании идей Van-Bemmelen'a; главная заслуга этих авторов, по нашему мнению, состоит в том, что они опытами доказали, что гумусовые кислоты сфагнумовых торфяников в своем отношении к солям и основаниям не подчиняются тем законам, какие установлены химией для несомненных кислот; на основании этих данных авторы рассматривают эти органические соединения торфяников не как кислоты, а как вещества ненасыщенные основаниями, и потому жадно поглощающие их, и если они реагируют кисло на лакмусовую бумагу, то это происходит потому, что они, как предположил впервые Van-Bemmelen, отнимают основание и от лакмуса.

Однако и в настоящее время отсутствие в почве определенных гумусовых кислот и определенных гуматов нельзя считать еще вполне доказанным, но против существования их говорит уже многое, поэтому вполне естественно, что Ramann в последнем издании своего Bodenkunde *** и в недавно появившейся статье **** вместо нейтрального и кислого гумуса и вместо нейтральных (и щелочных) и кислых почв применяет термины: абсорптивно насыщенный и абсорптивно ненасыщенный гумус,

---

* Über Absorptionsverbindungen und das Absorptionsvermögen der Ackererde.— Landw. Vers.-Stat., Bd. 35, S. 69, а также в недавно изданном собрании статей *Van-Bemmelen'a* «Die Absorption». Dresden, 1910, S. 81.

** Intersuchungen über die Humussäure.— Mitt. d. k. Bayr. Moorkulturanstalt. H. 3, 1909, S. 52—123; H. 4, 1910, S. 31—156; см. реф. в Журн. оп. агр. т. 12, 1911, стр. 367.

*** Bodenkunde, Berlin, 1911, S. 57, 159, 242.

**** Kolloidstudien bei bodenkundlichen Arbeiten.— Kolloidchemische Beihefte, Bd. II, S. 285 (см. реф. в Журн. оп. агр., т. 12, кн. 4, 1911).

[1] Сохранено старое написание. Здесь имеются в виду «абсорбционные соединения».— *Прим. ред.*

абсорптивно насыщенные и абсорптивно ненасыщенные почвы *, понимая под последними «почвы влажных областей, богатые гумусом или коллоидальной глиной, изменяющие синюю лакмусовую бумажку в красный цвет и из растворов нейтральных солей освобождающие переменные количества свободных кислот». Таким образом, проф. Ramann абсорптивно ненасыщенными почвами считает лишь те почвы, которые реагируют кисло на индикаторы, и кислую реакцию почвы считает основным признаком ненасыщенности.

Нам в последнее время, в связи с опытами по действию фосфоритов на различных почвах и по исследованию некоторых сторон поглотительной способности почв, пришлось натолкнуться на ряд почв, позволяющий несколько изменить понятие абсорптивно ненасыщенных почв. При исследовании действия нейтральных растворов хлористого натрия и калия ** на почвы, дающие водные вытяжки совершенно некислые и в смоченном состоянии вовсе не изменяющие цвета синей лакмусовой бумажки, оказалось, что и некоторые из таких почв отнимают от солей больше оснований, чем отдают раствору своих оснований, и потому нейтральный раствор соли становится кислым; очевидно, эти почвы также ненасыщены основаниями, поэтому *основным признаком ненасыщенности почв надо считать способность таких почв освобождать из нейтральных растворов солей кислоту*, а кислую реакцию, изменение синей лакмусовой бумаги в красную — признаком второстепенным, могущим быть или не быть в зависимости прежде всего от степени ненасыщенности; кроме степени ненасыщенности кислая реакция в ненасыщенных почвах может происходить и вследствие другой причины: если в такую почву каким-либо путем будет внесена соль (например, селитры и калийная соль как удобрение, или хлористый натрий с атмосферными осадками или снизу с грунтовыми водами), то, конечно, почва эта отнимет часть основания, освободит часть минеральной кислоты и будет реагировать кисло ***.

В зависимости от степени ненасыщенности все ненасыщенные основаниями почвы можно разделить по действию их на индикаторы на три группы:

---

* Эти термины мы считаем не вполне удачными ввиду того, что они предрешают вопрос о насыщенности или ненасыщенности почв не только основаниями, а вообще всем, т. е. и кислотами, и целыми молекулами солей; между тем, очевидно, здесь может быть лишь речь о насыщенности и ненасыщенности только основаниями, поэтому в дальнейшем мы всюду будем употреблять выражение — «почвы насыщенные основаниями» и «почвы ненасыщенные основаниями».

** Говорим не растворы нейтральных солей, а нейтральные растворы солей ввиду того, что такие соли, как хлористый кальций (химически чистый), часто дают слабо кислые растворы; с этим обстоятельством необходимо очень считаться при исследовании почв, слабо ненасыщенных основаниями.

*** Кислая реакция (на лакмусовую бумажку и в водных вытяжках) в некоторых, по крайней мере подзолистых почвах, обусловливается именно присутствием в них заметных количеств хлористого натра, а потому и свободной соляной кислоты.

1. Почвы, кислые на лакмусовую бумажку и дающие кислые водные вытяжки *; эти почвы будут сильно не насыщены основаниями; такие будут встречаться главным образом среди торфянистых и сильно глинистых почв.

2. Почвы, в смоченном виде реагирующие на лакмусовую бумажку, но дающие водные вытяжки на наши индикаторы, нейтральные; эти почвы уже в меньшей степени не насыщены основаниями; в водной вытяжке из этих почв содержится сравнительно мало ненасыщенных веществ и потому, хотя сама почва и способна еще отнимать основание от лакмуса бумажки, но водные вытяжки из этих почв уже не в состоянии сделать этого.

3. Почвы, нейтральные на лакмусовую бумажку и дающие нейтральные водные вытяжки (конечно, после кипячения последних); последние почвы будут уже значительно слабее не насыщены основаниями, нежели почвы первых двух групп.

Почвы, ненасыщенные основаниями, будут встречаться главным образом во влажных областях; к ним относятся торфянистые почвы и почвы подзолистой зоны; но между последними могут встречаться и насыщенные почвы; с другой стороны, и между почвами сравнительно более сухих областей могут встречаться почвы не вполне насыщенные основаниями; таковыми могут быть, например, горизонты А структурных солонцов, некоторые сильно выщелоченные и давно лишенные в своих верхних слоях углекислого кальция черноземы; таким, например, в наших опытах оказался песчанистый чернозем Воронежской губернии Бобровского уезда.

Большинство ненасыщенных почв, которые могут быть превращены в полевые угодья простыми приемами (обыкновенная обработка и унавоживание), могут быть лишь в слабой степени не насыщены и будут принадлежать к нашей третьей группе ненасыщенных почв; именно к таким почвам принадлежит большинство крестьянских и помещичьих полевых почв северной России; отчасти между ними могут встречаться и почвы средней ненасыщенности (вторая наша группа); почвы же очень ненасыщенные, реагирующие кисло и на лакмусовую бумагу, и в водных вытяжках, для превращения в удобные для полевой культуры земли уже нуждаются в более сложных приемах воздействия.

Необходимо отметить, что ненасыщенность почвы основаниями относится не только к гуминовым веществам почвы, но и к минеральной

---

* Почва, сильно ненасыщенная основаниями и не содержащая вовсе свободной кислоты, может реагировать кисло на лакмусовую бумажку вследствие того, что она, как указывалось раньше, будет отнимать основание от лакмуса; что касается кислой реакции водной вытяжки из такой почвы, то ее можно объяснить следующим образом: фенолфталеин, применяемый при титровании водных вытяжек щелочью, в нейтральной среде, так же как в кислой, бесцветен; приливаемая при титровании щелочь не изменяет его окраски, потому что поглощается находящимися в растворе ненасыщенными органическими веществами; когда последние будут в известной степени насыщены, дальнейшее прибавление щелочи вызовет изменение окраски.

части ее *. Экспериментально это доказать, конечно, очень трудно; мы до сих пор имели лишь один случай убедиться в этом, а именно на нейтральной бедной гумусом песчаной почве Новоладожского уезда из деревни Званки: в ней не только пахотный горизонт делал нейтральный раствор хлористого кальция (0,2 н.) кислым, но и при соприкосновении подпочвы, почти не содержащей органических веществ, раствор этот становился ясно кислым. Но если ненасыщенность основаниями минеральной части некоторых выщелоченных почв трудно доказать экспериментально, то теоретически, нам кажется, она понятна само собой.

Во-первых, анализы показывают, что в сильно выщелоченных почвах не только сильно понижено количество поглощающих веществ, но и процентный состав оснований (CaO, MgO, K_2O, Na_2O) в цеолитной части почвы значительно ниже, нежели в почвах невыщелоченных. Во-вторых, органические вещества вообще обладают большей поглотительной способностью, чем минеральные коллоидальные вещества почвы, поэтому трудно себе представить, чтобы ненасыщенное органическое вещество, находясь долгое время в соприкосновении с насыщенными основаниями минеральными коллоидальными веществами почвы, не отняло бы от них части оснований: при недостатке в почве оснований до полного насыщения ими как органических, так и минеральных коллоидальных веществ основания эти должны распределиться между первыми и вторыми согласно величине их поглотительной способности, а потому ненасыщенными будут и органическая и минеральная часть почвы, и последняя в большей степени, нежели первая.

По характеру своей поглотительной способности в отношении оснований почвы, насыщенные и ненасыщенные основаниями, существенно отличаются между собою: у почв насыщенных поглощение оснований из соляных растворов возможно взаимным обменом, с возвратом соляному раствору во всяком случае не меньшего в молекулярном отношении количества других оснований; почвы же ненасыщенные кроме такого взаимного обмена оснований с соляным раствором будут поглощать из него некоторую часть основания (величина которой находится в зависимости от степени ненасыщенности, крепости раствора, а быть может и природы соли), не замещаемую своими.

Обращаемся теперь снова к фосфоритам. Если почву, ненасыщенную основаниями, смешать с фосфоритом, то такая почва должна отнимать от фосфорита известь, делая таким образом его фосфорнокислые соединения более бедными известью, а потому и более доступными растениям; само собой разумеется, что чем данная почва будет менее насыщена основаниями, тем сильнее будет действие ее в указанном смысле на фосфорнокислые соединения фосфорита, тем более будет фосфорит повышать урожай.

Мы думаем, что *ненасыщенность основаниями и есть тот общий при-*

* Указание на кислую реакцию, обусловливаемую минеральной частью почвы, см. У *Kozai.*, Chem. Z., 1908, S. 1187; реферат в Журн. оп. агр., т. 11, 1910, стр. 214.

знак, присутствие которого необходимо, а при известной степени ненасыщенности и достаточно для того, чтобы почва, при недостатке в ней фосфорной кислоты, реагировала на фосфорит *; в пользу этого говорят и теоретические соображения, которые мы выше привели, и то обстоятельство, что все почвы, на которых у нас фосфорит не действовал, оказались при испытании их нейтральными растворами хлористого кальция и хлористого натрия или насыщенными основаниями, или же хотя и ненасыщенными, но в меньшей степени, нежели те почвы, на которых фосфорит действовал; причем, насколько можно судить по нашим немногим и лишь предварительным испытаниям, замечался параллелизм у последних почв между повышением урожая по фосфориту и степенью кислотности, получающейся при воздействии на эти почвы растворов нейтральных солей, и наоборот, нам не пришлось встретить такой почвы, которая, не реагируя на фосфорит, давала бы с растворами хлористого кальция или хлористого натрия ясно кислую реакцию (после кипячения).

Здесь мы не будем приводить цифрового материала относительно зависимости действия фосфорита от степени ненасыщенности почв, главным образом потому, что для определения ненасыщенности нужно еще выработать подходящий метод.

Укажем лишь, что на нормальных черноземах, на известковых почвах, т. е. почвах, вполне насыщенных основаниями, фосфориты, как по нашим опытам, так и по опытам многих других исследователей, на растения со слабой усваивающей способностью вовсе не действуют; из черноземных почв мы встретили лишь один образец, на котором действие фосфорита хотя было и не особенно сильное, но все же ясно заметное; исследование показало, что этот чернозем (Воронежской губ., Бобровского уезда), не вполне насыщен основаниями. Из подзолистых почв, бывших у нас в опытах с фосфоритом, несколько, как суглинистых, так и песчаных, не изменяя цвета синей лакмусовой бумаги и давая нейтральные водные вытяжки, ясно были отзывчивы на это фосфорнокислое удобрение, и вместе с тем наши предварительные исследования показали, что эти почвы

---

* *C. Hopkins, W. Knox и J. Petit.* Bull. № 73, Bureau of Chem. U. S. Depart. Agric., S. 114; реф. в Журн. оп. агр., т. 5, 1904, стр. 566; см. также мою статью там же, 1909, стр. 761, метод R. Albert'a, Stschr. angew. Chem., 1908, стр. 533; реф. в Журн. оп. агр., т. 10, 1909, стр. 430 и в моей статье, там же, 1909, стр. 430; метод Baumann'a — обработка почвы уксуснокислым натрием (см. сноску выше).

Ненасыщенность почв основаниями имеет значение и в других физиологических и сельскохозяйственных вопросах; останавливаться теперь на этом мы не будем, укажем лишь, что нейтральные, но ненасыщенные основаниями почвы могут усиливать действие и других труднорастворимых удобрений (например, костяной муки); что такие почвы при удобрении такими солями, как селитра, калийные соли, будут освобождать сильные минеральные кислоты, которые при известной степени ненасыщенности могут влиять на посевы, по крайней мере в первые стадии развития растений; что известь на таких почвах кроме влияния на физические свойства будет действовать благоприятно, насыщая их, так же как и на почвах кислых, и наконец, что понижающее действие извести на доступность фосфорной кислоты труднорастворимых фосфатов кроме других причин обусловливается на таких почвах уменьшением их ненасыщенности.

не насыщены основаниями, и в большей степени, нежели другие подзолы, на которых фосфорит не действовал *.

Раз отзывчивость почвы на фосфорит является следствием большей или меньшей ненасыщенности почвы основаниями, то становится понятным, почему невыпаханность, неунавоживаемость и кислотность в известных случаях действительно являются признаками отзывчивой почвы, но вместе с тем признаками, с одной стороны, недостаточными (невыпаханность и неунавоживаемость), а с другой стороны, не необходимыми (все три) для такой отзывчивости.

Действительно, внесение в почву удобрений и время, в течение которого почва была под культурой, может иметь влияние на действие фосфорита на этой почве: чем дольше почва была уже под культурой, чем больше применялось на ней удобрений искусственных и естественных, тем больше может быть уменьшена ее ненасыщенность благодаря уменьшению количества легкорастворимого гумуса и тем основаниям, какие вносились вместе с удобрениями; но очевидно, что могут встретиться (как это мы выше и указывали) почвы, которые вследствие своей сильной ненасыщенности и после продолжительной культуры будут еще реагировать на фосфориты; с другой стороны, нет никаких оснований предполагать, что все вновь разделываемые почвы подзолистой зоны будут в необходимой для действия фосфорита степени не насыщены основаниями; и между этими почвами могут быть и есть такие, на которых фосфорит не действует. Наконец, кислотность (в тесном смысле), являясь лишь частным случаем ненасыщенности почвы основаниями, указывает, конечно, на отзывчивость почвы на фосфорит, но вместе с тем и в отсутствие этого признака, как мы видели раньше, почва может отзываться на

---

* Вот несколько данных предварительного исследования ненасыщенности; определялась кислотность 0,1 н. раствора хлористого натрия, после 3-минутного воздействия 500 *см*³ его на 200 *г* почвы; 300 *см*³ фильтрата сгущались на водяной бане до 50 *см*³, кислотность которых определялась титрованием 0,01 н. раствором барита в присутствии фенолфталеина; для каждой почвы кроме того приготовлялась водная вытяжка и с фильтратом поступалось так же, как указано выше. Кислотность соляного раствора, выраженная в кубических сантиметрах 0,01 н. барита на 100 *г* почвы (после вычитания количества барита, которое шло на титрование водной вытяжки), выразилось следующими цифрами:

Чернозем Воронежской губ.	1,0	Песчаный подзол дер. Званки Новоладожского уезда	2,3
Суглинистый подзол Клинского оп. поля	1,7	Легкий суглинистый подзол. дер. Белогорка Царскосельского уезда	4,3

На всех этих почвах, нейтральных на лакмусовую бумагу и в водных вытяжках, фосфорит действовал, и по силе действия его на злаки почвы располагались в том же порядке, как и по приведенным выше цифрам.

Чтобы яснее представить себе значение приведенных величин поглощения оснований, укажем, что для перевода трехкальциевого фосфата, внесенного в почву в количестве, соответствующем 5 пудам фосфорной кислоты на десятину, в однокальциевый фосфат 100 *г* почвы должны поглотить из него такое количество извести, которое соответствует 8 *см*³ 0,1 н. раствора.

это удобрение, и среди отзывчивых на фосфорит северных полевых почв таких именно почв и будет большинство.

Дальнейшие исследования должны показать, в какой степени должна быть почва не насыщена, какой величины должна достигать кислотность нейтрального раствора соли при воздействии его на почву, чтобы на данной почве действие фосфорита могло проявиться заметным образом; необходимо выяснить зависимость между величиной ненасыщенности и степенью отзывчивости почв на фосфориты. А так как в действии фосфорита в сосуде и в поле, благодаря неодинаковым условиям там и здесь, всегда возможно предположить существенные различия, то для того, чтобы означенные исследования могли бы иметь практическое значение, повышение урожая при удобрении различных почв фосфоритом должно быть установлено не вегетационным, а полевым опытом.

ЕЩЕ О ПОЧВАХ, НА КОТОРЫХ ДЕЙСТВУЕТ ФОСФОРИТ [1]

В предыдущей заметке по тому же вопросу * мы привели главным образом те теоретические основания, которые привели нас к выводу, что труднорастворимые фосфаты и, в частности, фосфориты действуют под растениями средней и слабой усваивающей способности на почвах, ненасыщенных основаниями. Теперь мы можем сообщить несколько данных из вегетационных опытов 1911 г., произведенных нами при Сельскохозяйственной химической лаборатории в целях проверки этого вывода.

1. Осенью 1910 г. были поставлены вегетационные опыты на трех почвах Петербургской губ. (№ 1 — супесчаная почва Гдовского уезда, дер. Закрупичье; № 2 — легкая суглинистая почва Петергофского уезда, дер. Местаново и № 3 — легкая суглинистая почва Ямбурского уезда, дер. Ополье) с озимой рожью, под которой, между прочим, испытывалось и действие фосфорита. Вот окончательные результаты этой части опыта.

Урожай озимой ржи в *г* на сосуд

№ почвы	Полное удобрение *											
	Без P_2O_5			0,3 *г* P_2O_5 в NaH_2PO_4			0,3 *г* P_2O_5 в куломзинском фосфорите			0,9 *г* P_2O_5 в куломзинском фосфорите		
	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего	зерно	солома	всего
1	3,7	8,7	**12,4**	25,9	38,7	**64,6**	10,3	20,4	**30,7**	19,3	38,8	**58,1**
2	20,6	28,9	**49,5**	29,7	51,0	**80,7**	20,0	29,2	**49,2**	16,4	26,9	**43,3**
3	10,9	18,6	**29,5**	19,3	36,4	**55,7**	12,2	20,7	**32,9**	14,3	24,0	**38,3**

* Т. е. в почву во всех сосудах были внесены калийные и азотные удобрения. — *Прим. ред.*

---

[1] Воспроизводится по статье, опубликованной в Журнале опытной агрономии, т. 12, кн. 6, 1911.

* *К. Гедройц.* На каких почвах действует фосфорит. Почвы насыщенные и ненасыщенные основаниями.— Журн. оп. агр., т. 12, 1911, стр. 529 (см. также стр. 37 в наст. томе).

Урожаи показывают, что в отношении отзывчивости на фосфорит почва № 1 резко отличается от остальных двух: тогда как на последних фосфорит вовсе не действовал, действие его на первой почве нужно признать очень сильным.

Произведенное нами исследование этих почв показало, во-первых, что все они нейтральны и в смоченном состоянии на лакмусовую бумажку, и в водной вытяжке на фенолфталеин (после кипячения), а во-вторых, что почва № 1 сравнительно сильно не насыщена основаниями, тогда как почвы № 2 и № 3 насыщены ими; для определения степени ненасыщенности мы приготовляли из почв вытяжки 0,2 н. раствором хлористого натрия (100 *г* почвы и 200 *см*³ раствора) и параллельно при том же отношении почвы к воде — водные вытяжки; 100 *см*³ водных и соляных вытяжек после удаления углекислоты кипячением титровались 0,01 н. раствором едкого барита в присутствии фенолфталеина; означенное количество водных вытяжек из всех трех почв требовало до порозовения прибавления почти совершенно одинакового количества $Ba(OH)_2$, а именно 0,6 *см*³; вытяжки же раствором хлористого натрия сверх этого количества требовали еще для нейтрализации (по перечислению на 100 *г* сухой почвы):

№ почвы	*см*³ 0,01 н. $Ba(OH)_2$
1	5,6
2	0,0
3	0,0

Таким образом, почвы № 2 и 3, вовсе не реагировавшие на фосфорит, не освобождали вместе с тем кислоты из хлористого натрия, т. е. были насыщены основаниями, тогда как почва № 1, сильно реагировавшая на это удобрение, оказалась заметно ненасыщенной основаниями.

2. Так как более или менее обоснованное доказательство справедливости нашего вывода констатированием параллелизма между степенью ненасыщенности почвы и ее отзывчивостью на фосфорит возможно лишь исследованием большого числа почв, то мы сделали попытку проверить этот вывод другим способом, а именно попытались искусственно получить почву, ненасыщенную основаниями, из почвы, заведомо насыщенной и не реагирующей на фосфорит; с этой целью нами был взят пахотный слой суглинистого чернозема Тульской губернии, имение Кроткое; ежегодные опыты с этой почвой в Сельскохозяйственной лаборатории вполне установили ее неотзывчивость на фосфорит, а природа ее и химическое исследование не оставляют сомнения в полной насыщенности ее основаниями.

Для предварительного опыта нами было взято 2,5 *кг* этой почвы в бутыль, куда было прибавлено 5 *л* дистиллированной воды; в эту жидкость при частом взбалтывании пропускался в течение двух часов ток углекислоты; затем, после полного оседания частиц почвы, прозрачная жидкость сливалась прочь и заменялась вновь дистиллированной водой,



Действие фосфорита на черноземе, выщелоченном водой с углекислотой

Почва:

68 — неизмененная, N+K, фосфорит;

67 — выщелоченная, N+K, фосфорит;

66 — выщелоченная, N+K, $NaH_2 \cdot PO_4$;

69 — неизмененная, N+K, $NaH_2 \cdot PO_4$.

Общий урожай в граммах на сосуд: *68* — 4,4; *67* — 10,7; *66* — 18,0; *69* — 18,2

и в бутыль снова пропускалась углекислота; операция эта повторялась десять раз, после чего почва была выгружена из бутыли в чашку и оставлена для высыхания в воздухе.

Приготовленной таким образом почвой были выполнены три маленьких каучуковых сосуда; в каждый сосуд помещалось по 800 *г* почвы с соответствующими удобрениями: в сосуды № 65 и 67 по 0,15 *г* N в виде $Ca(NO_3)_2$, 0,1 *г* K_2O в K_2SO_4 и 0,1 *г* P_2O_5 в куломзинском фосфорите; в сосуд № 66 то же основное удобрение и 0,1 *г* P_2O_5 в NaH_2PO_4; кроме того были поставлены еще три сосуда с таким же количеством первоначального, не обработанного углекислотой чернозема — два с основным удобрением плюс фосфорит (№ 68 и 70) и один с основным удобрением плюс фосфорнокислый натрий (№ 69). В сосуды был посеян овес.

Уже через две недели после всхода овса ясно проявилось различие в сосудах по фосфориту на почве, обработанной и не обработанной углекислотой: овес на обработанной почве был заметно выше и сильнее, нежели на почве необработанной, и почти не отличался от овса по растворимой фосфорной кислоте; из прилагаемой фотографии и веса урожая овса видны окончательные результаты этого опыта.

Урожай овса в *г* на сосуд

	Азот плюс калий	
	Фосфорит	NaH_2PO_4
Чернозем неизмененный		
Зерно	1,6	8,3
Солома	2,8	9,7
Всего	4,4	18,0
Чернозем, выщелоченный водой с CO_2		
Зерно	4,0	9,0
Солома	6,7	9,2
Всего	10,7	18,2

Таким образом, урожай овса по фосфориту на черноземе, обработанном CO_2, оказался вдвое с лишком выше, нежели на черноземе необработанном; полный учет повышения усвояемости фосфорита, имевшего место на черноземе после его выщелачивания водой с углекислотой, на основании данного опыта не может быть произведен, так как в этом опыте, вследствие недостатка почвы, не были поставлены сосуды с основным удобрением без фосфорной кислоты; во всяком случае, на основании того соображения, что десятикратная обработка почвы водой с углекислотой должна была сильно истощить почву усвояемой фосфорной кислотой, нужно заключить, что действие фосфорита на обработанном черноземе по сравнению с необработанным еще сильнее, нежели то следует из сравнения величин полученных урожаев.

Что же могло измениться в черноземе под влиянием выщелачивания его водой, содержащей углекислоту, почему действие фосфорита на нем после такой обработки повысилось? Мы видим, что на урожай по фосфорнокислому натрию такая обработка вовсе не повлияла; допускать поэтому, что промывка чернозема сама по себе улучшала производительность этой почвы (удалением, например, вредных веществ), не приходится; вместе с тем несомненно — сильное выщелачивание уменьшило количество доступной овсу фосфорной кислоты, находившейся в самой почве, что не могло не отразиться неблагоприятно на величине урожая по фосфориту, а между тем величина эта все-таки заметно повысилась; очевидно, фосфорная кислота фосфорита на такой обработанной почве стала более доступной овсу; исследование этой почвы показало, что под влиянием произведенного выщелачивания она сильно обеднилась основаниями (по всей вероятности, главным образом известью, уносившейся из почвы водой с углекислотой в виде двууглекислого кальция) и, оставаясь сама по себе нейтральной, стала превращать нейтральные растворы солей в кислые, т. е. из почвы, насыщенной основаниями, превратилась в почву нейтральную, но ненасыщенную основаниями; очевидно, эта ненасыщенность и была причиной лучшего действия фосфорита.

Недостаточное количество обработанной почвы не позволило нам более подробно и с количественной стороны исследовать ее ненасыщенность; исследования эти ведутся нами теперь в другом образце так же обработанной почвы и по окончании своем будут опубликованы.

КОЛЛОИДАЛЬНАЯ ХИМИЯ В ВОПРОСАХ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

I. КОЛЛОИДАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ПОЧВЕННОМ РАСТВОРЕ. ОБРАЗОВАНИЕ СОДЫ В ПОЧВЕ. ЩЕЛОЧНЫЕ СОЛОНЦЫ И СОЛОНЧАКИ [1]

Три года тому назад мною были начаты исследования почв со стороны их коллоидальных свойств. С первых же шагов, предпринятых мною с этой целью, я убедился, что при современном состоянии как самой коллоидальной химии, так и нашего знания о почвенных соединениях и почвенных процессах, означенные исследования необходимо начать с самых элементарных вопросов.

Коллоидальная химия, несмотря на колоссальные успехи, сделанные ею в последнее время, находится еще в состоянии строительства, в периоде накопления фактов; те общие положения и теории, которые уже существуют в этой науке, с одной стороны, часто недостаточно еще обоснованы и согласованы между собою, с другой же стороны слишком общие, чтобы ими можно было с уверенностью пользоваться в отдельных конкретных случаях. Для примера укажу на очень часто затрагиваемый в почвоведении вопрос о влиянии мороза на коагуляцию почвенных коллоидов. Относительно этого вопроса коллоидальная химия говорит: «При замерзании, как правило, одновременно с кристаллизацией льда коагулирует коллоид, хотя во многих случаях однородность пространственного распределения приблизительно сохраняется. Затем, при последующем оттаивании, оказывается существенное различие. В то время как гидроокиси металлов, кремнекислота и т. д. переходят опять в неизменном виде в жидкий гидрозоль, большинство органических и неорганических суспензоидов и эмульсоидов претерпевают уменьшение степени дисперсности, что ведет к образованию при оттаивании макрогетерогенной системы. В последних системах отделяются при оттаивании от чистой дисперсионной среды твердые, порошкообразные и даже кристаллические осадки» *.

Совершенно очевидно, что при таком состоянии вопроса о действии мороза на коллоидальные вещества нельзя без соответствующих исследований заключать об отношении к замораживанию почвенных органи-

---

[1] Воспроизводится по «Сообщению VIII из Бюро по земледелию и почвоведению Главного управления землеустройства и земледелия». СПб., 1912.

* *Wo. Oswald.* Grundriss der Kolloidchemie. 1909, S. 508.

ческих коллоидов: только опыт может решить вопрос, будут ли при этом эти вещества превращаться в необратимые или же способность их переходить в золь будет сохраняться.

Без разрешения подобных элементарных, частных вопросов невозможно, по моему мнению, приступать и обоснованно решать более сложные вопросы почвоведения, так или иначе соприкасающиеся с коллоидальной химией (например, вопрос о характере соединений почвенных органических веществ с металлическими ионами).

Дальнейшее еще больше убедило меня в справедливости этого: когда я начинал свои исследования, в почвенной литературе имелись всего одна-две работы, более или менее тесно соприкасавшиеся с вопросами о коллоидальных свойствах почв, да и те были преимущественно умозрительного характера; в последнее же время опубликован целый ряд исследований, стремящихся выяснить довольно сложные почвенные вопросы с точки зрения коллоидальной химии; большинство выводов, делаемых авторами из полученных ими данных, таково, что к ним нельзя ни присоединиться, ни опровергнуть, так как исходные пункты их умозаключений не основаны на опыте, а заимствованы из общих положений коллоидальной химии вроде вышеприведенного о действии мороза. Особенно ясно это выступает в исследованиях, имевших целью выяснить природу органических веществ почвы *; доводы, приводимые авторами этих исследований как за, так и против существования в почве настоящих органических кислот, недостаточно обоснованы и неубедительны, так как в основу их кладутся одно или даже несколько допущений, справедливость которых может быть оспариваема.

Не буду здесь останавливаться на этом вопросе, так как в дальнейшем ему будет посвящена отдельная статья, и лишь для подтверждения сказанного приведу один пример из статьи Sv. Oden'а, защитника существования в почвах гумусовых кислот. По автору, почва содержит коллоидальные органические вещества наряду с гумусовыми кислотами, и для разделения их он применил следующий способ: к аммиачной вытяжке (4 н. NH_3) из торфа, содержащей коллоидальные органические вещества и гумат аммония, прибавлялся 2 н. раствор хлористого натра; через неделю прозрачная жидкость сливалась, не затрагивая свернувшихся органических веществ; осадок, по автору, содержит коллоидальные органические вещества, а жидкость преимущественно соль — гумат аммония; тут, очевидно, автор делает предположение, что 2 н. раствор хлористого натра в течение недели осаждает почти все коллоидальные вещества из его вытяжки; предположение недоказанное и неосновательное; если бы

---

* *A. Baumann und E. Gully*. Untersuchungen über die Humussäuren.— Mitt. d. K. Bayr. Moorkulturanstalt., H. 3, S. 52; H. 4, S. 31.— Реф. в Журн. оп. агр., т. XI, 1910, стр. 367.

B. Tacke und Süchting. Ueber Humussäuren.— Landw. Jahrb., Bd. 41, S. 717. Реф. в Журн. оп. агр., т. XI, 1910, отдел 1.

Sven Oden. Ueber die Natur der Humussäure.— Arkiv för Kemi Mineralogi och Geologi, Stockholm, Bd. 4, N 26.— Реф. в Журн. оп. агр., т. XI, 1910, отдел 1.

автор предварительно изучил отношение органических веществ почвы в щелочных вытяжках к осаждающему действию электролитов, он убедился бы, что при более продолжительном стоянии и при более концентрированных растворах хлористого натра количество осаждаемых им органических веществ увеличивается; и если насыщенный раствор хлористого натра все же осаждает не все органическое вещество, то отсюда вовсе нельзя заключать, что остающаяся часть органического вещества не коллоид: во-первых, если бы хлористый натрий был более растворим, то, быть может, он осадил бы сполна; во-вторых, непосредственные опыты показывают, что при той концентрации хлористого натра, при которой происходит почти полное осветление темноокрашенной жидкости, содержащей соединение органических веществ со щелочным металлом, но не содержащей свободной щелочи, достаточно нескольких капель свободной щелочи, чтобы получить снова темноокрашенную жидкость; в-третьих, нельзя забывать, что электролиты вообще не вполне осаждают коллоидальные вещества; так, такой сильно осаждающий коллоидальную кремнекислоту электролит, как соляная кислота, даже при высокой концентрации всегда удерживает часть ее в своем растворе; например, при обработке почвы 10%-ной HCl последняя удерживает в растворе около 0,2 *г* SiO_2 на 100 *г* почвы; при таком количестве органического вещества в растворе мы бы имели довольно сильно окрашенный раствор.

1. СОДЕРЖАНИЕ В ПОЧВЕННОМ РАСТВОРЕ КОЛЛОИДАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

В своих исследованиях я прежде всего остановился на вопросе о том, в каких количествах почвенные растворы различных типов почв могут содержать коллоидальные вещества: несомненно, что раз почвы вообще содержат вещества в коллоидальном состоянии (я здесь говорю лишь о коллоидах-дисперсоидах, оставляя совершенно в стороне механические суспензии из кремнекислоты, окиси железа, глины и т. п., т. е. так называемые дисперсоны), то часть этих веществ, хотя бы и минимальная, должна в виде золей находиться и в почвенном растворе; а так как эта часть коллоидальных веществ обладает среди почвенных коллоидальных веществ наибольшей степенью дисперсии, наибольшей удельной поверхностью, а потому наибольшей поверхностной энергией, то естественно, что она вместе с тем по сравнению с почвенными коллоидами, находящимися в состоянии геля, будет наиболее деятельной.

В каких же количествах почвы могут содержать эту наиболее деятельную часть своих коллоидов? Дать более или менее точный ответ на этот вопрос в настоящее время невозможно. Во-первых, нет методов, дающих возможность выделить неизмененный почвенный раствор; поэтому приходится ограничиваться исследованием водных вытяжек, которые, конечно, не могут дать точного представления о почвенном растворе: на основании того, как изменяется концентрация водных вытяжек и абсолют-

ное количество веществ, извлекаемых из 100 *г* почвы, при возрастающем отношении между количеством почвы и объемом воды, взятых для приготовления водных вытяжек, можно думать, что концентрация веществ, извлекаемых из почвы, в водных вытяжках ниже, нежели концентрация почвенного раствора, но абсолютное количество водорастворимых веществ по перечислению на 100 *г* почвы в водных вытяжках выше, нежели в почвенном растворе *. Во-вторых, нет точного способа выделения коллоидальных веществ, находящихся в растворе в смеси с кристаллоидами.

Я в своих исследованиях выделял колоидальные вещества из водных вытяжек, приготовлявшихся трехминутным встряхиванием навески почвы с пятерным количеством (по весу) воды; самое выделение коллоидально растворенных веществ в водной вытяжке я производил посредством диализа вытяжки через пергаментную перепонку; метод этот несомненно не точен, так при этом будут задерживаться не только вещества, коллоидально растворенные, но и вещества, которые при самом ходе диализа переходят в коллоидальное состояние; диализ является одним из способов получения многих веществ в коллоидальном состоянии, способов, основанных на гидролизе солей **: такие электролиты, как соли

---

* *E. Mitscherlich.* Eine chem. Bodenanalyse für pflanzenphysiologische Forschungen.— Landw. Jahrb., Bd. 36, 1907, S. 309 — Реф. в Журн. оп. агр., т. 10, 1909, стр. 272
С. А. Захаров. К методике водных вытяжек: влияние времени и массы растворителя.— Журн. оп. агр., т. 10, 1909, стр. 35.

Приведу, кроме того, в подтверждение сказанного несколько данных из неопубликованных еще моих исследований по этому же вопросу.

Результаты анализа 3-минутных водных вытяжек при различном отношении между количествами почвы и воды

Отношение количеств почвы и воды	Сухой остаток, *г*				Сухой остаток, *г*			
	минеральные вещества		потеря от прокаливания (орг. в-во)		минеральные вещества		потери от прокаливания (орг. в-во)	
	на 100 *см*³ вытяжки	на 100 *г* почвы	на 100 *см*³ вытяжки	на 100 *г* почвы	на 100 *см*³ вытяжки	на 100 *г* почвы	на 100 *см*³ вытяжки	на 100 *г* почвы
	1. Суглинистый чернозем				2. Оподзоленный суглинок			
1 : 1	0,0189	0,0189	0,0285	0,0285	0,0110	0,0110	0,01700	0,0170
1 : 1,5	0,0136	0,0204	0,0208	0,0312	0,0096	0,0144	0,0138	0,0207
1 : 2	0,0106	0,0213	0,0161	0,0322	0,0076	0,0152	0,0102	0,0204
1 : 3	0,0080	0,0240	0,0112	0,0336	0,0057	0,0171	0,0068	0,0204
1 : 4	0,0067	0,0268	0,0087	0,0348	0,0045	0,0180	0,0051	0,0204
1 : 5	0,0056	0,0280	0,0073	0,0365	0,0037	0,0185	0,0044	0,0220
1 : 6	0,0049	0,0294	0,0065	0,0390	0,0032	0,0192	0,0035	0,0210
1 : 8	0,0043	0,0344	0,0050	0,0400	0,0025	0,0200	0,0031	0,0248
1 : 10	0,0037	0,0370	0,0043	0,0430	0,0021	0,0210	0,0023	0,0230
1 : 20	0,0020	0,0400	0,0025	0,0500	0,0012	0,0240	0,0014	0,0280

** *Th. Svedberg.* Die Methoden zur Herstellung kolloider Lösungen anorg. Stoffe, 1909, S. 253.

железа и алюминия, соли гумусовых кислот и кремнекислоты, могущие присутствовать в водных вытяжках, вследствие гидролитической диссоциации при диализе будут давать коллоидальные гидроокиси железа и алюминия и коллоидальную гумусовую кислоту и кремнекислоту, не диффундирующие через перепонку, тогда как находившиеся раньше с ними в связи кислоты и основания будут диффундировать через пергамент. Таким образом, применявшийся мною способ определения количества коллоидальных веществ в почвенном растворе и при второй операции дает результаты преувеличенные *.

Диализ как для описываемых здесь определений, так и для других целей мне приходилось производить в массовом количестве; я здесь опишу те технические приспособления, на которых я остановился и которые, быть может, будут полезны другим работающим. Для ускорения диализа желательно вести его при постоянном токе воды во внешнем сосуде; имеющийся для этого прибор (воронка и складчатый пергаментный фильтр № 521 и 522 фирмы Schleiher-Schüll) я нашел не вполне удобным: во-первых, продажные фильтры очень часто на перегибах имеют трудно заметные щели; во-вторых, вследствие давления внутренней жидкости бóльшая часть поверхности фильтра прилипает к воронке, чем, конечно, уменьшается скорость диализа (особенно это чувствительно при диализе не одной водной вытяжки, а самой почвы) и, наконец, вследствие большого числа складок трудно количественно собрать все содержимое фильтра. Поэтому я в своих исследованиях остановился на следующем (см. рисунок).

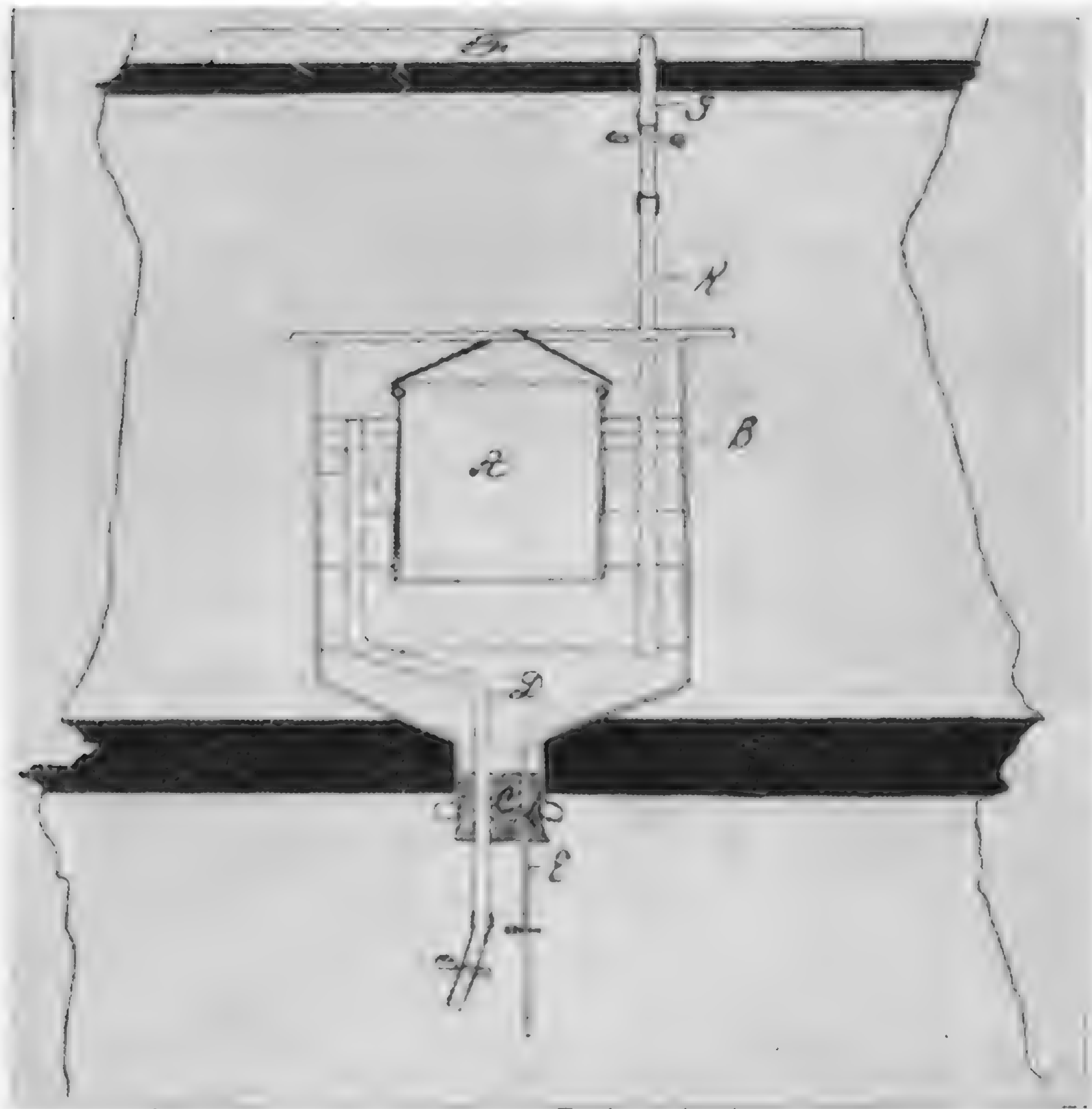
Диализируемая жидкость или почва помещалась во внутренний сосуд диализатора Бруннера (*A*), нижнее отверстие которого обтягивалось двойной ** пергаментной бумагой, которая перевязывалась не в нижнем, а в верхнем ранге сосудика, во избежание непосредственного сообщения внешней и внутренней жидкости через промежутки между бумагой и стенками сосуда. Вместо внешнего сосуда диализатора Бруннера я приспособил 10-литровую бутыль с диаметром около 20 *см*, разрезанную поперек приблизительно пополам; верхняя половина бутылки (с горлышком) и служила внешним сосудом (*B*), имевшим около 20 *см* высоты (не считая горлышка); в горло бутылки вставлялась каучуковая пробка (*C*) с двумя отверстиями, широким и узким; в широкое отверстие вставлялась стеклянная трубка (*D*) около 1 *см* внешнего диаметра; для того чтобы отклонить трубку внутри бутыли от центрального положения, при котором нельзя было бы подвесить внутренний сосуд, трубка имела у внутренней стороны дна сосуда изгиб; верхний конец этой трубки устанавливался во внешнем сосуде на такой высоте, на которой надо было поддерживать в нем воду; наружный конец соединялся каучуком с во-

---

* Быть может, для определения из почвенных водных вытяжек возможно с большим успехом приспособить метод ультрафильтрации Bechhold'а (*H. Bechhold.* Die Kolloide in Biologie und Medizin, Dresden, 1912, S. 86 и дальше).

** Двойная бралась ввиду того, что при одинарной бывали случаи прорыва.

Прибор для диализа почвенных вытяжек



доотводными трубами водопровода; в узкое отверстие каучуковой пробки вставлялась небольшая тонкая стеклянная трубка (*E*), наружное отверстие которой запиралось каучуковой трубкой с зажимом. Несколько таких верхних половин бутылей помещались в ряд на общей скамейке вниз горлышками, вставленными в соответствующие вырезы доски; к скамейке была приделана по ее длине полочка на высоте несколько большей, чем высота срезанных бутылей; на полку помещалась длинная стеклянная трубка (*F*), снабженная стеклянными же полыми отростками, перпендикулярными ее длине; в сторону помещающихся на скамейке нижних частей бутылей трубка имела столько же отростков (один из них изображен на рисунке), сколько было этих бутылей (на одном приборе я помещал шесть диализаторов), и расположенных против них; отростки соединялись каучуковыми трубками, снабженными винтовыми зажимами, со стеклянными трубками (*K*), изогнутыми под прямым углом и погруженными до дна внешних сосудов диализаторов; с противоположной стороны стеклянная трубка имела один отросток, сообщающий ее с резервуаром дистиллированной воды.

Такое приспособление позволяло вести диализ при постоянном токе воды желаемой скорости, которая регулировалась зажимами; уровень воды во внешних сосудах мог поддерживаться на любой высоте поднятием или опусканием вышеуказанных широких стеклянных трубок внутри внешних сосудов диализаторов; это поддерживание уровня на известной высоте, а именно на высоте не ниже той, на какой находится уровень диализируемой жидкости во внутреннем сосуде, очень существенно:

если уровень в последнем будет заметно выше уровня воды внешнего сосуда, то часть коллоидальных веществ высокой дисперсии будет под влиянием давления проходить через перепонку.

В приспособленные таким образом внешние сосуды подвешивались на крепкой бечевке к стеклянным палочкам обтянутые снизу пергаментом и наполненные приблизительно наполовину исследуемой жидкостью внутренние сосуды, и диализ производился при постоянном токе дистиллированной воды. Во внутренние сосуды время от времени прибавлялось несколько капель насыщенного раствора тимола как дезинфектора *. Диализ водных вытяжек продолжался до тех пор, пока 200 *см*^{3} жидкости из внешнего сосуда при выпаривании не оставляли вовсе сухого остатка, на что требовалось в среднем около трех месяцев. В течение диализа время от времени внешние сосуды вполне опоражнивались через узкую стеклянную трубку, вставленную в каучуковую пробку горлышка бутыли; кроме того, во избежание прорыва пергамента приблизительно каждые две недели приходилось переливать диализируемую жидкость в другой внутренний сосуд, обтянутый свежей пергаментной бумагой.

По окончании диализа водные вытяжки из диализаторов количественно переносились в мерные цилиндры; отсюда бралась для определения количества коллоидов определенная часть жидкости и в ней определялся сухой остаток, просушенный (5 часов при 105°) и прокаленный (минеральные коллоидальные вещества), а по разности определялось количество органических коллоидов; на основании соотношения объемов взятой для диализа и собранной после диализа водной вытяжки и объема последней, взятого для выпаривания, вычислялось процентное содержание минеральных и органических коллоидов, извлекаемых водой из 100 *г* почвы.

Полученные результаты (перечисленные на сухую почву) привожу в табл. I вместе с соответствующими данными водной вытяжки до диализа.

По указанным выше причинам приводимые в таблице количества коллоидальных веществ дают лишь очень приблизительное представление о содержании их в почвенных растворах; для дальнейшего существенно подчеркнуть, что действительное содержание коллоидально растворенных веществ в почвенном растворе должно быть ниже, нежели полученное мною исследованием водных вытяжек. Ввиду этого я ограничусь лишь общим обзором полученных данных, не касаясь вовсе деталей.

Укажу прежде всего, что в исследовавшихся мною почвах, за исключением щелочных солонцов, абсолютное содержание коллоидальных веществ, вместе органических и минеральных, в почвенном растворе на

* При этом дезинфекторе никогда у меня не наблюдалось загнивания или появления плесени, несмотря на очень продолжительный диализ (3 месяцев и более). Применявшийся сначала мною хлороформ не защищал вполне от загнивания, давал кислую реакцию и обходился сравнительно дорого.

Таблица I

Содержание веществ в коллоидальном состоянии в водных вытяжках из различных почв

(*г* на 100 *г* почвы или 500 *см*³ вытяжки)

Почва, местоположение	Горизонт, слой	Сухой остаток			Коллоидальные вещества		
		просушенный при 105°	прокаленный (минеральн. в-ва)	разность (орг. в-ва)	просушенный при 105°	прокаленный (минеральн. в-ва)	разность (орг. в-ва)
Латерит из Чаквы	—	0,0348	0,0024	0,0324	0,0205	0,0022	0,0183
Латеритная почва Кутаисского оп. поля	A	0,0327	0,0177	0,0150	0,0045	0,0006	0,0039
	C	0,0144	0,0084	0,0060	0,0018	0,0005	0,0013
Темно-каштановая почва Чимкентского уезда	1	0,0588	0,0579	0,0009	0,0017	0,0012	0,0005
	2	0,0378	0,0315	0,0063	0,0040	0,0010	0,0030
	3	0,0342	0,0272	0,0070	0,0032	0,0011	0,0021
	4	0,0258	0,0218	0,0040	0,0014	0,0006	0,0008
Каштановый чернозем (г. Мариуполь)	A	0,0385	0,0261	0,0124	0,0058	0,0008	0,0050
Суглинистый чернозем Воронежск. губ.	A	0,0591	0,0228	0,0363	0,0147	0,0028	0,0129
Суглинистый чернозем Тульской губ.	A	0,0501	0,0171	0,0330	0,0060	0,0010	0,0050
То же	A	0,0519	0,0264	0,0255	0,0092	0,0012	0,0080
Лесной суглинок Рязанской губ.	A	0,0574	0,0234	0,0240	0,0076	0,0006	0,0070
Оподзоленный суглинок Московской губ.	A	0,0426	0,0141	0,0285	0,0091	0,0009	0,0082
Тяжелая глинистая почва Ямбургского уезда	A	0,2898	0,1740	0,1158	0,0131	0,0013	0,0118
Ортштейн, Петербургская губ.	A	0,0130	0,0050	0,0080	0,0092	0,0040	0,0052
Мокрый солонец, Каинский уезд Томской губ., д. Броденок	A	1,4820	1,3260	0,1560	0,0141	0,0060	0,0081
	B	1,7430	1,6030	0,1400	0,0402	0,0186	0,9216
	C	1,0180	0,9260	0,0920	0,0236	0,0189	0,0045
Мокрый солонец, Чимкентский уезд	1	5,2960	5,2390	0,0570	0,0084	0,0034	0,0050
	2	3,0103	2,9810	0,0320	0,0090	0,0031	0,0059
	3	1,3040	1,2920	0,0120	0,0106	0,0033	0,0073
	4	1,8570	1,8250	0,0320	0,0059	0,0024	0,0035
	5	2,7500	2,6250	0,1250	0,0030	0,0011	0,0019

Продолжение табл. I

Почва, местоположение	Горизонт, слой	Сухой остаток: просушенный при 105°	Сухой остаток: прокаленный (минеральн. в-ва)	Сухой остаток: разность (орг. в-ва)	Коллоидальные вещества: просушенный при 105°	Коллоидальные вещества: прокаленный (минеральн. в-ва)	Коллоидальные вещества: разность (орг. в-ва)
Столбчатый солонец, Каинский уезд Томской губ. д. Броденок	A	0,1115	0,0675	0,0440	0,0665	0,0343	0,0322
	B_1	0,4200	0,2840	0,1360	0,1172	0,0300	0,0872
	B_2	0,7900	0,5350	0,2550	0,2160	0,0604	0,1556
	B_3	0,5080	0,4065	0,1015	0,0990	0,0183	0,0717
	C	0,1440	0,1340	0,0100	0,0161	0,0044	0,0117
Столбчатый солонец, Каинский уезд, д. Лебежье	B_1	0,8368	0,3856	0,4512	0,4494	0,0894	0,3600
Столбчатый солонец, Каинский уезд, д. Перенгуль	A	0,0765	0,0450	0,0315	0,0202	0,0050	0,0152
	B	0,5211	0,3801	0,1410	0,1492	0,0436	0,1076
	C	0,4782	0,4308	0,0474	0,0339	0,0066	0,0273
Столбчатый солонец (нетипичный), Чимкентский уезд	1	0,1330	0,1250	0,0080	0,0052	0,0020	0,0032
	2	0,5370	0,5310	0,0060	0,0090	0,0032	0,0058
	3	0,5030	0,4830	0,0200	0,0147	0,0050	0,0097
	4	0,5610	0,5560	0,0050	0,0173	0,0052	0,0121
	5	0,6390	0,6330	0,0060	0,0091	0,0053	0,0038
	6	0,1230	0,1200	0,0030	0,0041	0,0024	0,0017

100 *г* почвы колеблется между 0,0200 и 0,0018 *г*, а в культурных наших почвах (черноземы, лесные суглинки и подзолы) — между 0,0147 и 0,0058 *г*, при сухом остатке водной вытяжки 0,0591—0,0385 *г*; таким образом, несмотря на то, что приведенные здесь цифры несомненно преувеличены, они показывают, что коллоидально растворенных веществ в почвенном растворе не солонцеватых почв содержится очень мало (на что, конечно, указывает уже небольшое содержание в почве общего количества водорастворимых веществ), поэтому только увлечением коллоидальной химией можно объяснить себе ту ошибку, в которую впали некоторые исследователи, начиная с P. Ehrenberg'a *, приписывая свертыванию золей почвенного раствора под влиянием мороза, высыхания, известкования и других удобрений большую роль в водных и других физических свойствах почвы.

---

* *P. Ehrenberg*. Theoretische Betrachtungen über die Beeinflussung einiger der sogen. physikalischen Bodeneigenschaften.— Mitteil. Landw. Inst. d. Univ. Breslau, S. 445.— Реф. в Журн. оп. агр., т. 10, 1909, стр. 521. *Он же*. Die Beziehungen der Kolloidforschung zur Agrikulturchemie.— Kolloid-Zeitschr. Bd. 3, 1908, S. 193.— Перевод в «Почвоведении», т. 11, 1909, стр. 177.

J. König, J. Hasenbäumer u. C. Hessler. Bestimmung der Kolloide im Ackerboden.— Landw. Vers.-St., 1911, Bd. 75, Реф. в Журн. оп. агр., т. 13, 1912, стр. 225.

W. Czsermak. Ein Beitrag zur Erkenntnis der Veränderungen der sog. physikalischen Bodeneigenschaften durch Forst, Hitze und die Beigabe einiger Salze.— L. Vers.-St., 1912, Bd. 76, S. 75, Реф. в Журн. оп. агр., т. 13, 1912, стр. 227.

Несомненно, что, несмотря на ничтожные количества, коллоидально растворенные вещества почвенного раствора играют большую роль в жизни почвы, но эта их роль может учитываться и осязательно сказываться лишь как результат вековых процессов (перенесение коллоидов из одних слоев в другие и накопление их в известных слоях грунта); но объяснять коагуляцией этих ничтожных количеств коллоидальных веществ под влиянием кратковременного действия атмосферных факторов и электролитов изменение физических свойств почвы, уменьшение ее гигроскопичности, изменение структуры мне кажется совершенно неправильным; делались даже попытки вегетационными опытами учесть уменьшение количества доступных растениям веществ в почве вследствие адсорбции их коллоидами, выпадающими под влиянием 4-недельного замораживания почвы.

И неправильно это не только потому, что само количество этих могущих свертываться веществ очень мало, но еще по следующим соображениям. Во-первых, переход растворимых органических коллоидальных веществ под влиянием мороза, по крайней мере в почвах не торфянистых, в необратимые коллоиды, не способные снова растворяться при оттаивании, никем не доказан, и имеются факты, не подтверждающие это; так, мои опыты с органическими почвенными коллоидами (диализированная гуминовая кислота и гумат натрия из чернозема), находившимися с половины декабря 1911 г. до половины февраля 1912 г. на открытом воздухе и подвергавшимися таким образом и сильным морозам прошлой зимы, и попеременному оттаиванию и замерзанию, показали, что мороз нисколько не уменьшил способность этих веществ растворяться в воде; и это несмотря на то, что я брал концентрированные растворы; возможны, может быть, и такие модификации органических коллоидов почвы, которые при действии мороза будут давать необратимые коллоиды: не нужно забывать, что свойства коллоидов в значительной степени зависят от предшествующей их истории. Во-вторых, надо иметь в виду, что при свертывании коллоидальных веществ, как органических, так и неорганических, часть их всегда остается в растворе: всякий, делавший солянокислые вытяжки из почвы, знает, что соляная кислота, осаждая бóльшую часть кремнекислоты разложенных ею силикатов, всегда часть ее удерживает в растворе; в почвенном же растворе наших почв содержание коллоидов так ничтожно, что представляется даже возможным, что они и вовсе не будут осаждаться электролитами.

Значительно больше коллоидальных веществ содержится в почвенных растворах почв, содержащих соду; как видно из наших данных, общее количество органических и минеральных коллоидов в столбчатых горизонтах исследованных мною структурных солонцов колеблется между 0,0990—0,4494 *г* на 100 *г* почвы; данные для структурного солонца Купинского опытного поля (Томской губернии, Каинского уезда) показывают, что наибольшее количество этих веществ содержится в средней части (гор. B_2) столбчатого слоя, а именно 0,2160 *г*, тогда как в гор. B_1 0,1172, а в гор. B_3 всего 0,0990 *г*.

Таким образом, из всех исследованных мною типов почв только столбчатые горизонты структурных солонцов содержат в почвеннем растворе сравнительно много коллоидально растворенных веществ; быть может, при таких уже количествах коллоидально растворенных веществ коагуляция их под влиянием мороза, электролитов, просыхания и т. п. может заметно отражаться на физических свойствах почвы; будет ли это иметь место, и в какой степени эта коагуляция будет влиять на физические свойства почвы, может решить, конечно, лишь соответствующее исследование.

Отношение между общим количеством веществ, извлекаемых из почвы водою, и количеством коллоидально растворенных веществ, как показывает приведенная таблица, очень неодинаково у различных почв; вместе с тем бросается в глаза, что в черноземах, лесных суглинках, подзолистых почвах и особенно в солончаках отношение это довольно большое; только для оподзоленного суглинка Московской губернии оно падает немного ниже 4, в остальных же случаях выше, а для солончаков достигает очень большой величины (например, как 52960 к 84). Ниже это отношение для ортштейна, латерита и структурных солонцов; в них коллоидально растворенные вещества составляют около половины общего количества водорастворимых веществ.

Далее, таблица показывает, что во всех исследованных почвах, кроме ортштейнового горизонта торфянистой почвы, преобладающую часть в коллоидально растворенных веществах почвенного раствора составляют органические коллоиды; количество минеральных веществ диализированных вытяжек во многих почвах во много раз меньше, нежели количество органических веществ, и возможно, что бо́льшую часть этих минеральных веществ представляют вещества, абсорптивно поглощенные органическими коллоидами и не удаляющиеся из них даже продолжительным диализом; выше относительное количество минеральных веществ продиализированных водных вытяжек для столбчатых горизонтов структурных солонцов: в некоторых образцах количество минеральных коллоидов достигает здесь почти половины количества органических коллоидов.

Для суждения о составе минеральной части продиализированной водной вытяжки из столбчатого горизонта структурного солонца привожу результаты исследования прокаленпого остатка после выпаривания такой вытяжки (в граммах на 100 *г* почвы):

Сухой остаток	0,4494	Al_2O_3	0,0252
Прокаленный остаток	0,0804	Fe_2O_3	0,0448
SiO_2	0,0124	Сумма SiO_2, P_2O_3	0,0824

Таким образом, минеральпая часть остатка продиализированной водной вытяжки из указанного образца состоит исключительно из кремнекислоты, окиси алюминия и окиси железа.

Еще выше содержание минеральной части в сухом остатке продиализированной водной вытяжки из ортштейнового образования; как видно из

таблицы, почти все количество воднорастворимых веществ этого образования (правда, абсолютно очень небольшое — 0,0130 *г* на 100 *г* почвы) находится в коллоидально растворенном состоянии (0,0092 *г*), причем почти половина коллоидов приходится на долю минеральных веществ.

Приведенные мною данные только с большей убедительностью подтверждают то, что уже косвенно можно было заключить из данных анализа водных вытяжек, а именно, что в почвах, не принадлежащих к щелочным солонцам, свертыванию коллоидально растворенных веществ почвенного раствора нельзя приписывать заметной роли в изменении физических свойств почв, наблюдающемся в сравнительно кратковременный промежуток под влиянием таких факторов как мороз, известкование и т. п.; но эти изменения наблюдаются; известкование, например, часто изменяет структуру почвы непосредственно при перемешивании влажной почвы с известью; гигроскопичность и влагоемкость торфянистых почв заметно понижаются под влиянием мороза и т. д.

Чем же можно объяснить эти факты? Насколько в настоящее время выясняется, изменение, претерпеваемое почвой при воздействии указанных факторов, существенным образом обусловливается влиянием их на механические суспензии почвы и главным образом на гели почвы.

Ниже, в главе о свойствах почв, насыщенных различными основаниями, я приведу доказательства тому, что почва, в зависимости от большей или меньшей насыщенности тех ее составных частей, которые обладают энергично выраженной способностью к обмену основаниями (цеолитоподобные и органические вещества почвы), и от природы насыщающих ее оснований, будет содержать большее или меньшее количество минеральных и органических гелей, способных набухать и обладающих вязкостью и клейкостью; эти коллоидальные вещества в ненасыщенном состоянии или в состоянии насыщения щелочными металлами находятся в почве в состоянии полуобратимом: они, с одной стороны, очень мало растворимы в воде и потому почвенные растворы содержат сравнительно мало коллоидально растворенных веществ, но, с другой стороны, несмотря на это, благодаря указанным свойствам этих гелей (сильной набухаемости, клейкости и вязкости), почва приобретает определенные физические свойства; если же поглощающие вещества почвы насыщены кальцием, железом или алюминием, то почвенные гели приобретают аморфный характер, переходят в необратимое соотояние; поэтому физические свойства почвы в сильной степени зависят от того, в какой степени насыщены ее поглощающие вещества, и если они насыщены, то в каком количественном отношении различные основания, находящиеся в почвах, имеют участие в этом насыщении; далее, все те факторы, которые способствуют переходу полуобратимых гелей в аморфные вещества, будут вместе с тем изменять и физические свойства почвы, уменьшать ее гигроскопичность, влагоемкость, вязкость и т. д.; мороз, высыхание, известкование, большое количество электролитов (солончаки) действуют именно в этом направлении; наоборот, усиленное и многократное удобрение калийными солями и натронной селитрой вследствие происходящего обмена

поглощенного кальция на щелочные металлы постепенно обогащает почву полуобратимыми коллоидами, чем ухудшает в сельскохозяйственном отношении ее физические свойства.

2. ОБРАЗОВАНИЕ СОДЫ В ПОЧВЕ

Вопрос о происхождении соды в природе затрагивался многими исследователями *. Так как мои исследования касаются лишь частного случая, а именно происхождения соды в почве, возникновения щелочных солонцов и связи их с солончаками, то я здесь укажу лишь на теории, имеющие непосредственное отношение к рассматриваемому мною вопросу.

В почвенной литературе до настоящего времени господствует почти исключительно теория E. Hilgard'a, по которой сода возникает как результат взаимного обмена оснований между сернокислым или хлористым натром, с одной стороны, и углекислым кальцием (а также углекислым магнием), с другой стороны **.

В геологии наряду с этой теорией развивалась теория происхождения соды из силикатов, содержащих натрий, путем их выветривания ***, а также обменной реакцией их натрия на кальций, находящийся в растворе двууглекислого кальция; таким образом Bischof, основываясь на обменной реакции между кремнекислым калием и углекислым кальцием ****, объяснял присутствие соды в известняках.

Наконец, многие исследователи указывают, что в некоторых местностях (например, в небольших озерах Невады, в озере Palics в Венгрии, в Египте) сода произошла воздействием CO_2 и $CaCO_3$ на сернистый натрий; последний же происходит из сернокислого натра вследствие восстанавливающего действия органических веществ, а главным образом вследствие деятельности восстанавливающих микроорганизмов. Так как при образовании соды из сернистого натрия выделяется сероводород, то происхождение соды этим путем легко может быть констатировано.

С вопросом о происхождении соды в почве я столкнулся по следующему поводу. При исследовании содержания в почвенных растворах коллоидально растворенных веществ мне приходилось производить из одной и той же навески почвы ряд последовательных водных вытяжек; по от-

---

* Обстоятельную сводку этой литературы интересующиеся могут найти в статье R. Wegscheider'a («Natriumkarbonate»), помещенной в 1-м и 2-м выпусках 1-го тома, выходящего в настоящее время под редакцией C. Doelter'a «Handbuch der Mineralchemie».

** [Предположение] О происхождении соды из указанных солей было высказано другими исследователями значительно раньше Hilgard'a: о возникновении ее из NaCl еще Berthollet, а из сернокислого натрия — J. Russegger (1842 г.); но так как теорию эту наиболее подробно и именно применительно к щелочным солонцам развил Hilgard (а затем С. Танатарь), то она обычно и связывается с его именем.

*** Таким образом J. Szabo объяснял происхождение соды в Венгрии (J. K. K. Geol. R. A. I, 1850, стр. 334).

**** *G. Bischof.* Lehrbuch d. Chem. u. Physik. Geologie, Bd. I, 1863, S. 60; Bd. III, 1866, S. 27.

фильтровании первой водной вытяжки почва тотчас же смывалась дистиллированной водой с фильтра в ту же стклянку, в которой приготовлялась первая вытяжка, стклянка дополнялась до прежнего объема водой, и снова производилась водная вытяжка и т. д. И вот при такой обработке водой столбчатого слоя структурного солонца оказалось, что в целом ряде последовательных водных вытяжек количество извлекаемой соды, в зависимости от характера солонца (главным образом от содержания в нем хлора и серной кислоты), или остается довольно постоянным, или постепенно падает, но падение это значительно медленнее, чем это следует по расчету остающейся в почве соды от предшествующей вытяжки вместе с остатком неотфильтрованной воды; в некоторых же случаях в следующих за первой вытяжках количество соды даже возрастает. Приведу несколько примеров из своих исследований.

1. *Столбчатый солонец* (взят вблизи дер. Броденок Купинской волости Каинского уезда Томской губернии); образец взят на с.-з. склоне гривы, приблизительно от вершины ее на расстоянии $^2/_3$ общего протяжения склона.

Гор. A, мощность 3—5 *см*, цвет темный; рассыпчатый.

Гор. B_1, мощность 13 *см*, столбчатая структура.

Гор. B_2, мощность 11 *см*, ореховая структура.

Гор. B_3, мощность 5—8 *см*, более светлый, чем предыдущие слои; вскипает.

Гор. C, с глубины 80—85 *см*, светло-желтый, супесчаный, сильно вскипает.

В табл. II приведены: содержание сухого остатка, хлора, нормальной и двууглекислой соды в трех последовательных водных вытяжках. Данные показывают, что во 2-й последовательной водной вытяжке содержание соды во всех слоях понизилось очень мало; в 3-й вытяжке оно довольно сильно понизилось в горизонтах A, B_1 и C, в горизонтах же B_2 и B_3 понижение опять-таки очень слабое.

2. *Щелочной солончак со дна пади Ареда Нерчинской степи.*

Слой 1, рыхлая корка соли до 5 *см* мощности; 1а — плотная корка с рядом лежащего места.

Слой 2, пухлый, мощностью 2 *см*.

Слой 3, черная, очень вязкая порода 10—15 *см* мощности.

Слой 4, темно-серый суглинок с глубины 18—35 *см*.

Слой 5, » » » 48—65 *см*.

Слой 6, » » » 70—83 *см*.

Результаты исследования водных вытяжек этой почвы (сухой остаток в 1-й водной вытяжке и серная кислота, хлор, сода, нормальная и двууглекислая, в 1-й, 2-й и 3-й последовательных водных вытяжках) помещены в табл. III. Таблица показывает, что во всех слоях этой почвы, богатых сернокислым натрием, содержание соды в водных вытяжках по мере выщелачивания почвы водой возрастает.

3. *Столбчатый солонец из Нерчинской степи близ устья Балтарагоя*

Гор. A_1, около 6 *см* мощности.

Гор. A_2, 4—6 *см* мощности.

Таблица II

Результаты исследования столбчатого солонца дер. Броденок Томской губ.
(% на сухую почву)

Горизонт	1-я водная вытяжка. Сухой остаток: просушенный при 105°	1-я: прокаленный (минер. в-во)	1-я: потеря от прокаливания (орг. в-ва)	2-я водная вытяжка. Сухой остаток: просушенный при 105°	2-я: прокаленный (минер в-во)	2-я: потеря от прокаливания (орг. в-во)	3-я водная вытяжка. Сухой остаток: просушенный при 105°	3-я: прокаленный (минер. в-во)	3-я: потеря от прокаливания (орг. в-во)
A	0,112	0,068	0,044	0,083	0,047	0,035	0,067	0,037	0,030
B_1	0,420	0,284	0,136	0,257	0,182	0,075	0,269	0,191	0,078
B_2	0,790	0,535	0,255	0.475	0,340	0,135	0,386	0,279	0,107
B_3	0,508	0,406	0,102	0,331	0,274	0,057	0,287	0,237	0,050
C	0,144	0,134	0,010	0,110	0,099	0,011	0,081	0,072	0,009

Горизонт	1-я водная вытяжка: общая щелочность в HCO_3	1-я: Na_2CO_3	1-я: $NaHCO_3$	1-я: Cl	2-я водная вытяжка: общая щелочность в HCO_3	2-я: Na_2CO_3	2-я: $NaHCO_3$	2-я: Cl	3-я водная вытяжка: общая щелочность в HCO_3	3-я: Na_2CO_3	3-я: $NaHCO_3$	3-я: Cl
A_1	0,024	0	0,034	0,007	0,021	0	0,029	0,002	0,006	0	0,008	0
B_1	0,190	0,017	0,235	0,008	0,171	0	0,238	0,002	0,098	0,005	0,063	0
B_2	0,317	0,138	0,222	0,011	0,307	0,034	0,370	0,003	0,226	0,064	0,210	0
B_3	0,290	0,131	0,196	0,006	0,281	0.064	0,286	0,001	0,181	0,032	0,237	0
C	0,140	0,025	0,136	0,004	0,098	0,017	0,108	0,001	0,060	0,023	0,044	0

Гор. B_1, 5—6 *см* мощности, очень плотный, черно-коричневого цвета.

Гор. C_2, 10—17 *см* мощности, плотный темновато-бурый суглинок, вскипает.

Гор. C_3, рыхлый, пористый, светло-серо-бурый суглинок.

В табл. IV привожу результаты анализа 1-й водной вытяжки семи горизонтов этого солонца и содержание соды (нормальной и двууглекислой) в 1, 2 и 3-й последовательных водных вытяжках из горизонтов B_2 и C_3. Результаты показывают, что по мере выщелачивания этих горизонтов водой содержание соды хотя и понижается, но значительно слабее, чем в том случае, если бы мы в почве имели дело лишь с содой, присутствующей там как таковая: от первой водной вытяжки после отфильтрования осталось на 100 *г* почвы — 150 *см*^{3} воды; для 2-й вытяжки прибавлено было еще 350 *см*^{3}; концентрация соды в остатке 1-й вытяжки поэтому должна была понизиться на $^{15}/_{35}={}^{3}/_{7}$, т. е. общая щелочность для B_2 и C_3 должна была бы быть соответственно 0,073 и 0,067; от второй водной вытяжки осталось с почвой после фильтрации также 150 *см*^{3} и для 3-й вытяжки прибавлено было опять 350 *см*^{3}, т. е. общая щелочность должна была понизиться по сравнению с щелочностью 1-й вытяжки на

Таблица III

Щелочной солонец со дна пади Ареда Нерчинской степи
(% на сухую почву)

Слой	1-я водная вытяжка							
	сухой остаток			общая щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Cl	SO_3 *
	просушенный при 105°	прокаленный (минер. в-ва)	потеря от прокаливания (орг. в-ва)					
1	16,714	14,866	1,848	0,093	0,025	0,087	0,003	8,072
1 а	3,214	3,100	0,114	0,105	0,041	0,077	0,001	1,867
2	7,084	6,638	0,446	0,078	0,016	0,081	0,020	3,654
3	2,252	1,966	0,286	0,104	0,051	0,060	0,013	1,015
4	1,024	0,784	0,240	0,134	0,051	0,097	0,013	0,320
5	0,496	0,278	0,218	0,110	0,041	0,084	0,052	0,069

2-я водная вытяжка					3-я водная вытяжка				
общая щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Cl	SO_3	общая щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Cl	SO_3
0,084	0,042	0,050	0,001	1,683	0,125	0,038	0,108	0	0,351
0,136	0,068	0,077	0	0,371	0,180	0,072	0,128	0	0,078
0,099	0,034	0,081	0,006	0,657	0,114	0,042	0,087	0,002	0,152
0,190	0,085	0,122	0,004	0,314	0,176	0,106	0,071	0,001	0,071
0,199	0,098	0,108	0,003	0,067	0,217	0,110	0,119	0,001	0,014
0,137	0,038	0,125	0,015	0,015	0,143	0,030	0,144	0,010	0,005

* В верхних четырех слоях извести, извлекаемой водой, следы; серная кислота почти целиком связана с натрием.

$^9/_{49}$, т. е. должна бы равняться всего 0,031 и 0,029 HCO_3 вместо получившейся 0,150 и 0,117.

Не стану приводить больше аналогичных данных; весь имеющийся у меня материал дает совершенно такую же картину, как и приведенные выше три случая: 1) *в типичных структурных солонцах, почти не содержащих хлора и серной кислоты, количество соды при последовательном выщелачивании водой хотя и убывает, но значительно медленнее, чем в том случае, если бы вода извлекала только соду, находящуюся уже в почве как таковая*; 2) *в щелочных солонцах, сравнительно богатых сернокислым натрием, количество соды, извлекаемой водой при последовательном выщелачивании, возрастает по мере выщелачивания сернокислого натра.*

Таблица IV

Столбчатый солонец близ устья Балтарагоя Нерчинской степи
(% на сухую почву)

Горизонт	1-я водная вытяжка							
	сухой остаток			общая щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Cl	SO_3
	просушенный при 105°	прокаленный (минер. в-ва)	потеря от прокаливания					
A_1	0,045	0,016	0,029	0,004	0	0,005	0	Немного (<0,005)
A_2	0,061	0,018	0,043	0,005	0	0,007	0	То же
B_1	0,350	0,155	0,196	0,037	0	0,050	0	»
B_2	0,608	0,248	0,460	0,171	0	0,235	0	»
C_1	0,587	0,315	0,272	0,264	0,144	0,141	0	»
C_2	0,317	0,248	0,069	0,264	0,102	0,212	0	»
C_3	0,159	0,136	0,024	0,157	0,042	0,087	0	Ок. 0,005

Горизонт	2-я водная вытяжка			3-я водная вытяжка			4-я водная вытяжка		
	общая щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	общая щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	общая щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$
B_2	0,158	Сл.	0,216	0,150	0,012	0,168	0,137	0,025	0,110
C_3	0,128	0,033	0,072	0,117	0,029	0,068	0,095	0,024	0,059

Далее, аналогичное исследование мокрых солонцов, очень богатых хлором, содержащих углекислый кальций, не содержащих вовсе нормальной соды и лишь следы двууглекислого натра, показало, что 2-я последовательная вытяжка, содержавшая уже сравнительно мало хлора (а именно столько, сколько оставалось его в почве с остатком жидкости, не удаленной от 1-й водной вытяжки), обнаружила уже заметные количества нормальной соды и значительно больше двууглекислого натрия; в дальнейших последовательных вытяжках, по мере удаления хлора, содержание и той и другой соды все возрастало.

Для примера и в подтверждение сказанного привожу в табл. V результаты исследования мокрого солонца, взятого близ дер. Броденок Купинской волости Каинского уезда Томской губ. в межгривной низинке;

Гор. А, мощность до 20 *см*, сверху сухой, серого цвета, ниже темнее и влажнее.
Гор. В около 18 *см*, мелкоореховатой структуры, вязкий.
Гор. С с глубины 60 *см*, светло-желтого цвета, супесчаный.

Аналогичные результаты получены мною и при исследовании других образцов мокрых солонцов, богатых хлором, но содержащих сравнитель-

Таблица V

Мокрый солонец дер. Броденок Томской губ.
(% на сухую почву)

Горизонт	1-я водная вытяжка. Сухой остаток: просушенный при 105°	прокаленный (минер. в-ва)	потеря от прокаливания (орг. в-ва)	2-я водная вытяжка. Сухой остаток: просушенный при 105°	прокаленный (минер. в-ва)	потеря от прокаливания (орг. в-ва)	3-я водная вытяжка. Сухой остаток: просушенный при 105°	прокаленный (минер. в-ва)	потеря от прокаливания (орг. в-ва)
A	1,482	1,326	0,156	0,252	0,158	0,094	0,118	0,082	0,036
B	1,743	1,603	0,140	0,271	0,246	0,025	0,105	0,089	0,016
C	1,018	0,926	0,092	0,125	0,104	0,021	0,057	0,036	0,021

Горизонт	1-я водная вытяжка: HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Cl	2-я водная вытяжка: HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Cl	3-я водная вытяжка: HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Cl
A	0,029	0	0,039	0,593	0,062	0,004	0,074	0,063	0,083	0,019	0,081	0,006
B	0,021	0	0,029	0,691	0,046	0,005	0,054	0,072	0,081	0,025	0,071	0,008
C	0,015	0	0,020	0,406	0,029	0,002	0,037	0,29	0,044	0,013	0,039	0,005

Примечание. Содержание SO_3 в 1-й водной вытяжке (в % на сухую почву): гор. A — 0,138; гор. B — 0,150; гор. C — 0,123.

но мало серной кислоты; таким образом: 3) *в солончаках, богатых хлористым натрием и почти не содержащих сернокислого натра, щелочность в водных вытяжках начинает появляться лишь после вымывания части хлористого натра, и количество ее увеличивается по мере его удаления.*

Объяснить себе подобное отношение соды к водным вытяжкам в указанных почвах я мог одним из следующих допущений: или имеющийся запас соды в почве находится в ней в механически поглощенном состоянии (в виде соды же), и этому поглощению способствуют хлориды и сульфаты, вода же постепенно выщелачивает, освобождает соду из этого поглощенного состояния; или же — что сода образуется при самом приготовлении водных вытяжек, но образование ее происходит не из хлористого или сернокислого натра и углекислого кальция, а иным путем, так как присутствие хлоридов и сульфатов даже мешает появлению щелочных карбонатов.

Для выяснения, которое из этих предположений справедливо, мною был поставлен ряд опытов, описывать которые я здесь не буду; приведу лишь тот окончательный опыт, к которому меня эти предварительные

опыты привели и который, по моему мнению, решает поставленный вопрос.

Опыт состоял в следующем. Ряд одинаковых навесок верхнего слоя суглинистого чернозема, не содержащего вовсе углесолей, смешивался с одинаковыми количествами углекислого кальция и помещался в склянки, куда затем прибавлялись одинаковые объемы 0,2 н. раствора хлористого натра; содержимое склянок встряхивалось, после чего склянки оставались в покое до полного просветления жидкости; тогда прозрачная жидкость сливалась прочь из всех склянок возможно полно с помощью сифона. В склянке № 1 обработка хлористым натром на этом и прекращалась; в остальных же склянках почва обрабатывалась вторично таким же способом и таким же количеством 0,2 н. раствора хлористого натра; после полного просветления этот раствор снова сливался прочь; на этом обработка хлористым натрием в склянке № 2 оканчивалась; во все же остальные склянки приливался в третий раз такой же раствор хлористого натра и т. д., так что почва в склянке № 1 обрабатывалась раствором хлористого натра один раз, в № 2 — два раза, в № 3 — три раза и т. д. и в № 20 — двадцать раз.

Такой же точно опыт был поставлен мною с заменой только хлористого натра на сернокислый. Почва в каждой склянке после окончания обработки хлористым или сернокислым натром подвергалась ряду последовательных обработок дистиллированной водой.

Вот какими соображениями руководствовался я при постановке этого опыта. Если сода поглощается почвой как таковая, то для возможности образования соды, согласно теории Гильгарда, из сернокислого или хлористого натрия и углекислого кальция нет необходимости, чтобы сода при взаимодействии этих натровых солей с углекислым кальцием образовывалась сразу в заметных количествах; достаточно, чтобы при этом взаимодействии получались лишь небольшие количества ее; часть этой образовавшейся соды в присутствии хлористого или сернокислого натра поглотится почвой, вместо же нее образуется снова некоторое количество соды, из которого опять часть поглотится и т. д.; применявшееся мною удаление отработавшего раствора хлористого натра и замена его новым раствором должно было способствовать образованию и постепенному накоплению соды, так как вместе с хлористым или сернокислым натрием должен был удаляться второй продукт взаимного обмена — хлористый или сернокислый кальций; таким образом, если почва действительно поглощала бы соду как таковую, то поглощение это в отношении образования соды из $NaCl$ или Na_2SO_4 и $CaCO_3$ сыграло бы роль нерастворимости одного из продуктов реакции взаимного обмена, отсутствие чего делает невозможным реакцию взаимного обмена в растворах между $NaCl$ и $CaCO_3$ и обусловливает лишь ничтожный выход соды в растворах Na_2SO_4 и $CaCO_3$.

Итак, если поглощение соды имеет место, то при применявшейся мною обработке в почве должно было накопиться значительное количество этого соединения, которое по удалении избытка хлористого или сернокислого натра постепенно переходило бы в водные вытяжки.

Таблица VI

Количество $NaHCO_3$ в *г* на 100 *г* сухой почвы

Реактив	Объект исследования	Последовательная обработка					
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	10-я
NaCl	Почва + $CaCO_3$	0,008	0,008	0,012	0,010	0,012	0,010
Na_2SO_4	То же	0,024	0,026	0,030	0,030	0,033	0,044
NaCl	Почва без $CaCO_3$	0,005	0,005	0,008	0,008	0,008	0,008
Na_2SO_4	То же	0,008	0,010	0,013	0,018	0,020	0,024
Вода	Почва + $CaCO_3$	0,005	0,006	0,008	0,008	0,006	0,008

Обращаюсь к полученным из этого опыта результатам и приведу прежде всего данные определения соды в последовательно воздействовавших на почву растворах хлористого и сернокислого натра (табл. VI); в этой таблице щелочность почвы, полученная титрованием вытяжки 0,01 н. серной кислотой после отделения углекислого кальция, выражена в $NaHCO_3$, так как ни в одном случае фенолфталеин не обнаружил нормальных карбонатов. Таблица показывает, что при последовательном воздействии на почву, смешанную с углекислым кальцием, растворов хлористого натра в сливавшихся, отработавших растворах обнаруживались лишь следы соды, а именно почти столько же, сколько ее получалось и в последовательных вытяжках чистой водой из почвы, смешанной с мелом, а также в вытяжках хлористым же натрием, но из почвы, не смешанной с углекислым кальцием: так, например, после десятой обработки почвы $+CaCO_3$ раствором NaCl на 100 *г* почвы приходилось 0,010 *г* $NaHCO_3$; а чистой водой — 0,008 *г*. Несколько больше обнаруживалось соды в растворах Na_2SO_4 после воздействия их на почву $+CaCO_3$; так, после 10-й обработки почвы этим раствором на 100 *г* почвы найдено 0,044 *г* $NaHCO_3$. Но во всяком случае и эту величину надо признать сравнительно ничтожной.

Иная картина получилась при определении соды в ряде последовательных *водных* вытяжек из почвы $+CaCO_3$ после предварительной обработки их различное число раз растворами NaCl и Na_2SO_4. В табл. VII я привожу результаты исследования десяти последовательных водных вытяжек из почвы $+CaCO_3$ после предварительной обработки смеси 5, 10, 15 и 20 раз 0,2 н. раствором хлористого натра и сернокислого натра.

Приведенная таблица показывает следующее:

1. В первой водной вытяжке соды обнаружено значительно больше, чем в слитом перед тем растворе хлористого или сернокислого натра (ср. табл. VI); затем, по мере дальнейшего удаления из почвы остатков хлористого и сернокислого натра, количество соды в последовательных водных вытяжках все возрастает примерно до шестой последовательной

Количество соды в *г* на 100 *г* почвы в последовательных водных

Число обработок	Последовательная														
	1-я			2-я			3-я			4-я			5-я		
	Общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$
Обработка 0,2 н. раствором NaCl															
5	0,041	0	0,057	0,088	0,001	0,119	0,094	0,008	0,116	0,102	0,018	0,112	0,065	0,006	0,108
10	0,066	0,007	0,079	0,116	0,024	0,118	0,171	0,036	0,175	0,200	0,040	0,208	0,220	0,046	0,224
15	0,093	0,018	0,102	0,148	0,022	0,168	0,244	0,034	0,282	0,352	0,038	0,427	0,432	0,042	0,527
20	0,099	0,017	0,109	0,159	0,021	0,185	0,256	0,032	0,302	0,370	0,036	0,451	0,512	0,042	0,638
Обработка 0,2 н. раствором Na_2SO_4															
5	0,029	0	0,040	0,097	0,008	0,121	0,097	0,015	0,111	0,110	0,019	0,123	0,112	0,021	0,121
10	0,084	0,004	0,108	0,109	0,023	0,113	0,178	0,030	0,198	0,207	0,043	0,218	0,226	0,045	0,240
15	0,088	0,010	0,104	0,153	0,021	0,176	0,232	0,032	0,269	0,348	0,036	0,422	0,500	0,042	0,622
20	0,098	0,015	0,111	0,163	0,020	0,193	0,249	0,034	0,290	0,360	0,132	0,445	0,531	0,047	0,657

вытяжки, а затем начинается постепенное понижение содержания соды.

2. Чем большее число раз почва $+CaCO_3$ последовательно обрабатывалась раствором хлористого или сернокислого натра, тем больше оказалось соды в соответствующей водной вытяжке, причем это увеличение количества соды, переходящей в водную вытяжку, с увеличением числа обработок растворами натронных солей сначала идет быстро, а затем все медленнее, и результаты, полученные исследованием водных вытяжек из почвы, предварительно обработанной натронными солями 20 раз, мало отличаются от результатов, полученных после обработки почвы натронными солями всего 15 раз.

Итак, результаты приведенного опыта в известной степени как будто подтвердили предположение о поглощении почвой соды как таковой, так как их возможно объяснить следующим образом: при воздействии раствором NaCl и Na_2SO_4 на углекислый кальций получаются небольшие количества соды, которые в присутствии хлористого или сернокислого натрия механически поглощаются почвой; вместо поглощенной соды, при дальнейших обработках натронными солями, получаются новые ее количества, которые снова поглощаются почвой, и т. д.; с удалением же натронных солей сода начинает переходить снова в водную вытяжку. Но рядом с вышеописанным опытом мною был поставлен совершенно аналогичный: тот же чернозем также последовательно обрабатывался 0,2 н. раствором

Таблица VII

вытяжках после обработки почвы $+CaCO_3$ 5, 10, 15 и 20 раз

водная вытяжка														
6-я			7-я			8-я			9-я			10-я		
Общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$
Обработка 0,2 н. раствором NaCl														
0,092	0,006	0,118	0,083	0,004	0,108	0,061	0,004	0,077	0,065	0	0,089	0,065	0	0,089
0,221	0,050	0,218	0,197	0,036	0,210	0,208	0,024	0,247	0,185	0,020	0,216	0,116	0	0,159
0,420	0,045	0,509	0,305	0,030	0,373	0,232	0,019	0,290	0,165	0,014	0,205	0,122	0,004	0,168
0,427	0,042	0,521	0,317	0,028	0,393	0,241	0,020	0,304	0,183	0,011	0,235	0,144	0,006	0,175
Обработка 0,2 н. раствором Na_2SO_4														
0,110	0,019	0,123	0,096	0,008	0,119	0,085	0,006	0,107	0,089	0,002	0,119	0,085	0	0,118
0,225	0,055	0,222	0,220	0,063	0,220	0,204	0,042	0,217	0,172	0,030	0,190	0,150	0,019	0,177
0,410	0,057	0,473	0,305	0,058	0,329	0,259	0,032	0,297	0,161	0,015	0,204	0,129	0,004	0,168
0,415	0,053	0,486	0,324	0,068	0,350	0,247	0,021	0,306	0,176	0,013	0,222	0,122	0,004	0,161

хлористого (или сернокислого) натра, но углекислый кальций прибавлялся к чернозему *не в начале опыта, а уже после окончания обработки каждой порции чернозема указанными растворами;* если бы процесс образования и накопления соды шел бы по вышеописанному, то в этом опыте, вследствие отсутствия углекислого кальция, соды не могло образоваться вовсе и прибавление углекислого кальция уже после окончания обработки хлористым или сернокислым натром не должно было вызвать появления соды в водных вытяжках.

Между тем последний опыт показал обратное: в почве, после многократной последовательной ее обработки хлористым или сернокислым натром, при полном отсутствии в почве углесолей, прибавление углекислого кальция вызывало появление соды и тем в большем количестве, чем больше почва предварительно обрабатывалась натронными солями и чем полнее были удалены эти соли после последней обработки; результат, таким образом, в обоих опытах был аналогичен с качественной стороны, с количественной же стороны исследование последовательных водных вытяжек во втором опыте показало, что соды при этом получается даже больше, нежели в соответствующих водных вытяжках первого опыта — при обработке натронными солями почвы, смешанной с углекислым кальцием.

Количество соды в водных вытяжках

№ п.п.	Реактив	Когда к почве был прибавлен $CaCO_3$	1-я водная вытяжка			2-я водная вытяжка		
			общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$
1	NaCl	До обработки	0,066	0,007	0,079	0,116	0,024	0,118
2	NaCl	После обработки	0,137	0,013	0,156	0,173	0,023	0,188
3	Na_2SO_4	До обработки	0,084	0,004	0,103	0,109	0,023	0,105
4	Na_2SO_4	После обработки	0,143	0,015	0,161	0,171	0,025	0,183

Для подтверждения приведу в табл. VIII данные первых четырех последовательных вытяжек: 1) из почвы $+CaCO_3$ после 10-кратной обработки смеси 0,2 н. раствором хлористого натра; 2) из почвы, обработанной также 10 раз 0,2 н. раствором хлористого натра, но без $CaCO_3$, который был прибавлен после сливания последнего раствора хлористого натра перед первой водной вытяжкой; 3) из почвы $+CaCO_3$ после 10-кратной обработки смеси 0,2 н. раствором Na_2SO_4 и 4) из почвы, которая обрабатывалась 10 раз 0,2 н. раствором Na_2SO_4 без углекислого кальция, который был прибавлен после последнего сливания раствора сернокислого натра перед приготовлением водной вытяжки.

Вот кроме того результаты исследований на соду почвы, обработанной без прибавления углекислого кальция 20 раз 0,2 н. раствором хлористого натра. Слитый после 20-й обработки раствор хлористого натра был почти совершенно не окрашен органическими веществами, как и все предшествующие, отработавшие растворы; анализ его показал, что нормальной соды он вовсе не содержал, двууглекислой же соды на 100 *г* почвы (или в 500 *см*^{3} его) содержалось 0,003 *г*. Для удаления оставшегося в почве хлористого патра почва диализировалась в проточной дистиллированной воде до исчезновения реакции на хлор; приготовленная после этого из этой почвы водная вытяжка окрасилась органическими веществами в совершенно черный цвет и не просвечивала вовсе: анализ показал, что и в ней нормальной соды не содержалось вовсе, но двууглекислой соды она содержала, хотя и не много, но во всяком случае вполне реальные количества — 0,042 *г* на 100 *г* почвы. Когда эта продиализированная почва была смешана с мелом, то водная вытяжка из этой смеси оставалась также темноокрашенной и показала следующие количества соды (на 100 *г* почвы, или на 500 *см*^{3} вытяжки): нормальной 0,042 *г*, двууглекислой 0,655 *г*, или общая щелочность от щелочных карбонатов, выраженная

Таблица VIII

в г на 100 г сухой почвы

3-я водная вытяжка			4-я водная вытяжка		
общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	общ. щелочность в HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$
0,171	0,036	0,175	0,200	0,040	0,208
0,195	0,038	0,196	0,212	0,038	0,228
0,178	0,030	0,186	0,207	0,043	0,206
0,201	0,037	0,207	0,223	0,045	0,223

в ионах HCO_3 на 100 *г* почвы, достигла внушительной величины в 0,525 *г*.

Итак, вышеприведенные опыты показывают, что при воздействии на почву, содержащую углекислый кальций, растворов хлористого натра, соды, как непосредственного продукта взаимного обмена NaCl и $CaCO_3$, вовсе не получается, а при воздействии растворов сернокислого натрия — лишь ничтожные количества *, но что при этом воздействии этих двух натронных солей на почву мы получаем продукт, уже сам по себе дающий в водных вытяжках слабо щелочную реакцию, с образованием соды, а в присутствии углекислого кальция могущий, при достаточном числе обработок почвы натронными солями, давать значительные количества соды; получаемый вследствие этих обработок продукт представляет из себя почву, в которой натрий, вытеснивший известную часть других оснований, в большей или меньшей степени, в зависимости от продолжительности обработки натронными солями, насыщал почву. 20-кратная обработка 0,2 н. раствором этих солей превращала чернозем в насыщенный или почти насыщенный натрием: по крайней мере исследование сливавшихся растворов хлористого натра показало, что уже после 16-й последовательности обработки раствор хлористого натра вытесняет из чернозема лишь ничтожные следы извести.

Воздействием натронных солей на почву мы получаем, таким образом, почву, обогащенную натронными силикатами и гуматами, которые уже и являются непосредственными источниками соды: небольшие количества последней могут, как мы видели выше, возникать уже вследствие разла-

* Исследование взаимодействия углекислого кальция с хлористым и сернокислым натром в присутствии почвы я производил и с продолжительным пропусканием в неотфильтрованную водную вытяжку углекислоты; при этом, конечно, общая щелочность вытяжки (количество щелочных+щелочноземельных карбонатов) сильно возрастала (до 0,7 *г* HCO_3 на 100 *г* почвы); в случае хлористого натра в растворе мы имели $Ca^{\cdot\cdot}+2HCO_3'+Na^{\cdot}+Cl'$, и в осадок, конечно, не выпадало ничего; при выпаривании водной вытяжки для отделения щелочноземельных карбонатов весь $Ca^{\cdot\cdot}$ соединялся с углекислотой, получался в осадке $CaCO_3$, а весь натрий давал хлористый натрий, и соды вовсе не обнаруживалось. В случае сернокислого натрия вследствие выпадения части SO_4'' и $Ca^{\cdot\cdot}$ в виде гипса выпаривании отфильтрованной вытяжки иона SO_4 не хватало на соединение со всем количеством иона Na, и получилось некоторое количество соды (около 0,07 *г* HCO_3 на 100 *г* почвы): если бы выпавший гипс не был отделен вместе с почвой от раствора, то и в случае сернокислого натрия при выпаривании (или испарении) раствора весь кальций соединялся с углекислотой, а натрий с серной кислотой, и щелочности мы бы не получали.

гающего действия воды, количества эти заметно увеличиваются в присутствии избытка углекислоты *; если же подобная в большей или меньшей степени насыщенная натрием почва содержит углекислый кальций **, то количество образующейся соды, как продукта взаимного обмена основаниями между $CaCO_3$ и натронными силикатами и гуматами почвы, достигает значительных количеств даже в присутствии лишь ничтожных количеств углекислоты, при избытке же последней получающиеся количества соды — громадны ***.

В этом процессе взаимного обмена натрия на кальций $CaCO_3$ в почве, насыщенной натрием, принимают участие как гуматы, так и силикаты натрия. Вот опыт, подтверждающий это. 100 *г* образца того же чернозема, который служил для всех вышеописанных опытов, обрабатывались перекисью водорода до полного сжигания органического вещества; лишенная органического вещества почва после приведения в воздушно-сухое состояние и растирания обрабатывалась в стклянке последовательно 15 раз 0,2 н. раствором хлористого натра; после удаления 15-го раствора к почве прибавлено было 10 *г* $CaCO_3$ и производились последовательные водные вытяжки с определением в них соды: вот результаты исследования 3-й водной вытяжки (в граммах на 100 *г* почвы): общая щелочность щелочных карбонатов — 0,134; Na_2CO_3 — 0,034; $NaHCO_3$ — 0,131.

Для почвы же без удаления органических веществ в этих же условиях было получено (см. табл. VII): общая щелочность щелочных карбонатов в HCO_3 — 0,244; Na_2CO_3 — 0,034; $NaHCO_3$ — 0,284.

Следующим существенным вопросом для выяснения образования соды в почвах является вопрос о том, все ли гуматы натрия и силикаты натрия принимают участие в образовании соды как в отсутствие, так и в присутствии углекислого кальция, и если не все, то какие именно? Относительно гуматов я могу высказать еще лишь предположительно,

---

* Вот результаты одного из опытов, произведенных мною в этом направлении. К 50 *г* чернозема, насыщенного натрием (чернозем 20 раз последовательно обрабатывался хлористым натром, после чего почва диализировалась до полного удаления хлора и была доведена после этого до воздушно-сухого состояния) прибавлялось 500 $см^3$ воды и в течение 3 часов пропускался ток углекислоты; после этого в фильтрате было найдено 0,596 *г* двууглекислой соды на 100 *г* почвы (или на 100 $см^3$ воды), тогда как без пропускания углекислоты в тех же условиях найдено было всего соответственно 0,042 *г* (нормальной соды в обоих случаях не обнаружено).

** Мы выше видели, что присутствие этого соединения в почве почти не препятствует обмену натрия натронных солей на другие основания почвы и переходу в насыщенное натрием состояние, так как обратная реакция — обмен кальция углекислого кальция на натрий почвенных силикатов и гуматов начинает происходить, в уловимых для анализа количествах, лишь после удаления большей части хлористого или сернокислого натра.

*** Приведу в подтверждение результаты опыта, поставленного параллельно с опытом без $CaCO_3$ (см. сноску первую). К 50 *г* почвы, насыщенной натрием и смешанной после этого с 10 *г* углекислого кальция, прибавлялось 500 $см^3$ воды; в одном случае в течение 3 часов пропускалась через смесь углекислота. Без пропускания углекислоты на 100 *г* почвы получилось: 0,084 *г* нормальной соды и 0,811 *г* двууглекислой, а с пропусканием углекислоты: нормальной соды — 0, двууглекислой — 1,411 *г*.

что, по всей вероятности, если не весь свой натрий, то по крайней мере большую его часть насыщенный натрием гумат способен обменивать на кальций углекислого кальция. Относительно же почвенных силикатов натрия можно почти с уверенностью утверждать, что только часть их дает с углекислым кальцием соду вследствие способности к более или менее энергичному обмену своего натрия на кальций углекислого кальция, а в отсутствие последнего дает щелочную реакцию вследствие разлагающего действия воды.

Доказательством этому служат прежде всего наши нормальные черноземы и лёссы: ни в природных условиях, ни при лабораторных опытах, с пропусканием и без пропускания углекислоты, в них с помощью водных вытяжек не удается обнаружить уловимых количеств соды, а между тем валовое содержание окиси натрия в минеральной части этих образований доходит до 1% с лишним, но при очень небольшом количестве ее, извлекаемом 10%-ной соляной кислотой. Далее, это же следует из произведенных мною опытов насыщения почвы натрием по вышеописанному способу; подробно об этом я скажу в следующей статье[1], совместно с изложением опытов насыщения чернозема другими основаниями и описанием свойств полученных продуктов замещения; здесь же укажу на следующее.

При последовательной обработке чернозема 1,0 н. растворами хлористого натра количество кальция, вытеснявшегося натрием из почвы, в сливавшихся растворах постепенно уменьшалось и уже при 15-й обработке упало до совсем ничтожных количеств — меньше тех, которые извлекаются обычно водными вытяжками из почвы; таким образом, двадцатикратной обработкой почвы раствором хлористого натра я достигал или почти достигал полного насыщения почвы натрием; если дальнейший обмен натрия на почвенные основания и мог идти, то в самых ничтожных количествах; исследование же так обработанной почвы показало, что натрий вытеснил из первоначальной почвы ее основания (Ca, K, Mg) далеко не нацело, а приблизительно в таком количестве (меньшем), какое переходит их в 10%-ную солянокислую вытяжку; я думаю, что это обстоятельство дает право сделать заключение, *что в обмене натрия почвенных силикатов на кальций углекислого кальция первенствующая роль принадлежит той части этих силикатов, которая обладает резко выраженной поглотительной способностью*,— а именно, *цеолитной части почвы* (силикату A, по терминологии van Bemmelen'a); если стать на эту точку зрения, становится совершенно понятным, почему нормальный чернозем, смешанный с углекислым кальцием, не дает в водных вытяжках уловимых количеств углекислого натрия: при валовом содержании в черноземе окиси натрия около 1%, цеолитной окиси натрия в нем обычно всего сотые [доли] процента!

Приведу еще следующий факт в подтверждение того, что в образовании соды обменной реакцией натрия на кальций $CaCO_3$ между силикатами натрия исключительная роль принадлежит цеолитной части почвы.

---

[1] См. статью на стр. 89 в наст. томе.— *Прим. ред.*

Как известно, исследования проф. Набоких (Бессарабск. сельск. хоз-во, 1911, № 7, 9 и 11; реф. в Журн. оп. агр., т. 13, 1912, стр. 62) показали, что в каштановом черноземе Бессарабии в валовом составе Na_2O преобладает над K_2O. В имеющихся в почвенном музее Бюро по земледелию и почвоведению двух образцах бессарабских почв (I — темно-бурая суглинистая Оргеевского уезда, из Быковецкого питомника; II — чернозем того же уезда), по анализу, произведенному Н. Ив. Соколовым, также оказалось, что валовое содержание Na_2O очень велико и значительно больше, нежели валовое содержание K_2O, а именно (в процентах на сухую почву):

Образец	Горизонт	Глубина, *см*	K_2O	Na_2O
I	A	0—20	2,308	4,798
I	C	150—165	1,825	3,859
II	A	0—15	2,655	5,554
II	C	110—120	2,392	4,825

Для рассматриваемого здесь вопроса почвы эти представляли большой интерес, поэтому я произвел исследование водных вытяжек (3-минутное встряхивание, при отношении почвы к воде как 1:5) и определил содержание Na_2O и K_2O в 10%-ной солянокислой вытяжке (10-часовое нагревание на кипящей бане).

Анализ водной вытяжки показал, что в горизонте A образца I и горизонтах A и C образца II соды вовсе нет, в горизонте же C образца I ее обнаружены небольшие количества: Na_2CO_3 — 0,008%, $NaHCO_3$ — 0,003%; хлора и серной кислоты в горизонте A образца I и в горизонтах A и C образца II — следы; в горизонте C образца I хлора 0,003%, а SO_3 — 0,112%; таким образом, небольшое количество соды найдено только в горизонте C образца I.

Солянокислая вытяжка извлекла из этих почв следующие количества щелочей [в процентах на сухую почву]:

Образец	Горизонт	K_2O	Na_2O
I	A	0,668	0,054
I	C	0,514	0,147
II	A	0,687	0,048
II	C	0,641	0,055

Таким образом, несмотря на очень высокое валовое содержание Na_2O в исследованных почвах, цеолитной окиси натрия в горизонте A образца I и в обоих горизонтах образца II содержится очень мало, несколько больше ее в горизонте C образца I; параллельно с этим идет и содержание соды: в первых трех горизонтах ее вовсе нет, а в последнем горизонте очень небольшое количество; прибавление углекислого кальция при приготовлении водных вытяжек из горизонтов A образцов I и II (горизонты C сами по себе содержат его значительные количества) также не вызывало образования соды; очевидно, что богатые натрием безводные силикаты в этих почвах не обменивают свой натрий на кальций $CaCO_3$.

Обращаюсь к последнему вопросу, к вопросу о роли хлористого и сернокислого натра в образовании соды в щелочных солонцах. Как мы видели выше, в присутствии углекислого кальция из хлористого натра сода не образуется вовсе, а из сернокислого натра ее получаются лишь очень небольшие количества (по крайней мере, когда концентрация сернокислого натра в почвенном растворе не превосходит 0,2 н., т. е. в 100 *см*^{3} почвенного раствора содержится до 1,42 *г* Na_2SO_4, или 0,8 *г* SO_3); таким образом, непосредственная роль этих солей в образовании соды во всяком случае ничтожна; они играют посредствующую роль в этом процессе, насыщая натрием почвенные гуматы и цеолитообразные вещества, являющиеся уже непосредственными источниками соды.

Но мало того, присутствие хлористого и сернокислого натра препятствует образованию соды из этих обогащенных натрием соединений; так, мы видели, что из почвы, насыщенной натрием, в отсутствие углекислого кальция, после удаления насыщавшего ее хлористого натрия, водная вытяжка получается темноокрашенной органическими веществами и содержит заметное количество соды (около 0,042 $NaHCO_3$ на 100 *г* почвы); когда вытяжки из такой же почвы производились не дистиллированной водой, а 0,2 н. раствором хлористого или сернокислого натра, то фильтраты получались бесцветными (или почти бесцветными — при сернокислом натре), а содержание соды падало в случае хлористого натра до 0,003 *г*, а сернокислого — до 0,015 *г*; после прибавления углекислого кальция та же насыщенная натрием почва давала водные вытяжки темноокрашенные, с содержанием на 100 *г* почвы 0,722 *г* $NaHCO_3$, а вытяжки растворами хлористого и сернокислого натрия — бесцветные или почти бесцветные, с содержанием $NaHCO_3$ соответственно 0,030 и 0,092 *г* на 100 *г* почвы; подобные же опыты были произведены мною и с природными щелочными солонцами, и всюду получалось то же: в вытяжках растворами хлористого или сернокислого натра содержание соды оказывалось значительно ниже, нежели в вытяжках дистиллированной водой. Приведу для примера опыты с горизонтами B_2 и C_3 столбчатого солонца Нерчинской степи (исследование водных вытяжек из этого солонца помещено в табл. IV).

Количество щелочных карбонатов, выраженное в HCO_3, в *г* на 100 *г* почвы

Вытяжка дистиллированной водой	B_2	0,171
	C_3	0,157
Вытяжка 1,0 н. NaCl	B_2	0,030
первая	C_3	0,037
вторая	B_2	0,012
	C_3	0,028
шестая	B_2	0,007
	C_3	0,010

После шестой последовательной вытяжки раствором хлористого натра из тех же навесок делались вытяжки дистиллированной водой:

Вытяжки	
первая	B_2 0,015
	C_3 0,055
вторая	B_2 0,049
	C_3 0,089
третья	B_2 0,160
	C_3 0,182

Таким образом, в первой вытяжке раствором хлористого натра содержание соды оказалось уже значительно ниже, чем в водной вытяжке, а в дальнейших вытяжках раствором хлористого натра содержание это постепенно все понижалось; что количество соды от первого прибавления хлористого натра не упало сразу до минимума, объясняется тем, что присутствие соли этой препятствует образованию соды, но, конечно, не влияет на количество соды, присутствующей в почве уже как таковая. Когда раствор хлористого натра при дальнейших вытяжках был заменен водой, то количество соды в вытяжке снова поднялось и постепенно увеличивалось по мере удаления хлористого натра.

Имеющиеся в почвенной литературе анализы солонцов также показывают, что в общем в тех почвах, где сравнительно много хлора — мала щелочность, и наоборот: много соды извлекается водной вытяжкой из тех солонцов, которые не содержат или содержат очень мало хлористого натра; такую зависимость в отношении сернокислого натра в имеющихся почвенных анализах проследить трудно, так как содержание серной кислоты при этих анализах редко приводится, а где оно приводится, там часто нельзя установить, какая часть SO_3 связана с натрием, а какая — с кальцием.

Итак, можно считать установленным, что соли натрия, хлористые и сернокислые, препятствуют появлению соды в водной вытяжке из таких почв, из которых при отсутствии этих солей вода извлекает даже бо̀льшие количества углекислого натра. Чем же объяснить такое влияние хлористого и сернокислого натра?

Укажу прежде всего, что водная вытяжка извлекала у нас из почвы, насыщенной натрием (20-кратной последовательной обработкой хлористым натром, с последующим удалением хлористого натра диализом), в отсутствие углекислого кальция 0,504% минеральных веществ и 0,749% органических веществ (по разности), причем сухой остаток содержал 0,146% SiO_2 и 0,143% Na_2O (все на 100 *г* сухой почвы); вытяжка получалась совершенно темной, непросвечивающей. Вытяжка же из той же почвы 0,2 н. раствором хлористого натра извлекала всего 0,191% минеральных веществ и 0,048% органических веществ, и сама вытяжка была почти совершенно бесцветной; таким образом, в присутствии хлористого натра количество извлекаемых силикатов натрия и гумата натрия значительно понизилось. При рассмотрении процесса образования соды в почве, насыщенной натрием, в присутствии углекислого кальция, как результата обмена на кальций (углекислого кальция) натрия натронных силикатов и гуматов, находящихся в растворе, наиболее простым, самим собою

напрашивающимся объяснением вышеуказанного влияния хлористого и сернокислого натрия на образование соды было бы следующее: соли эти, как имеющие общий катион с натронными силикатами и гуматами, понижают растворимость этих трудно растворимых в воде соединений и этим понижают количество образующейся соды; но такому объяснению противоречит ряд данных, полученных мною опытным путем.

1. Если приготовить из почвы, насыщенной натрием, водную вытяжку и полученную темноокрашенную жидкость отделить от почвы фильтрацией и после этого уже к отфильтрованной вытяжке прибавить такой же объем 0,4 н. раствора хлористого натра, то и после продолжительного стояния смеси не появляется никакого осадка; заметим, что из вышеприведенных данных о содержании минеральных и органических веществ в водной вытяжке и в вытяжке 0,2 н. раствором хлористого натра из почвы, насыщенной натрием, видно, что в разбавленной наполовину водной вытяжке веществ этих содержится значительно больше, нежели в вытяжке раствором хлористого натра; если бы уменьшение количества переходящих в раствор силикатов и гуматов натрия вызывалось понижением их растворимости вследствие присутствия электролита, имеющего общий с ними ион, то это же должно было иметь место и при прибавлении этого электролита к чистому водному раствору.

Конечно, в данном случае при желании удержать приведенное объяснение, можно сделать допущение, что водный раствор из почвы, насыщенной натрием, содержит уже не те соединения, которые разлагались водой, а продукты их распада; но с таким допущением не вполне согласуется, во-первых, то обстоятельство, что в то время как общее содержание в водной вытяжке Na_2O было 0,143%, соды в ней обнаружено всего 0,042% (на 100 *г* сухой почвы), так что большая часть натрия была и в водной вытяжке в виде гумата или силиката натрия; а во-вторых,— действие хлористого натра на приготовленную водную вытяжку из той же почвы, но не отделенную от почвы: если к навеске почвы, насыщенной натрием, прибавить половинное количество воды, взболтать, а затем, не отфильтровывая, к темноокрашенной жидкости прибавить до нормального объема 0,4 н. раствора хлористого натра, то цвет вытяжки, содержание в ней извлекаемых из почвы минеральных и органических веществ и количество соды падает почти до тех размеров, какие получаются при приготовлении вытяжки непсредственно 0,2 н. раствором хлористого натра. Во всяком же случае сам по себе факт неосаждения хлористым натром веществ из отфильтрованной водной вытяжки из почвы, насыщенной натрием, я не считаю еще решающим в данном вопросе.

2. Вытяжка из почвы, насыщенной натрием, получается бесцветной не только тогда, когда ее производят раствором хлористого натра, но и тогда, когда вместо него берется такой же крепости раствор хлористого калия. Может явиться предположение, что это явление вызывается меньшей растворимостью силикатов и гуматов калия, почему хлористый калий и осаждает их; но, во-первых, хлористый калий той же концентрации, подобно хлористому натру, не осаждает ничего из предварительно от-

фильтрованной темноокрашенной водной вытяжки, а, во-вторых, мои опыты с почвой, насыщенной калием, показывают, что такая почва, совершенно так же, как и почва, насыщенная натрием, дает темноокрашенные водные вытяжки. Далее, можно допустить, что и в этом опыте действие хлористого калия, быть может, вызывается не им самим, а образовавшимся вследствие обмена с почвою хлористым натром, который уже, имея с силикатами и гуматами натрия общий ион, понижает их растворимость.

Для выяснения этого в вытяжке 0,2 н. хлористым калием было определено содержание хлористого натра: анализ показал, что раствор этот в отношении хлористого натра был 0,025-нормальным; тогда из почвы, насыщенной натрием, была сделана вытяжка хлористым натрием указанной крепости; исследование этой вытяжки показало, что по содержанию органических и минеральных веществ, а также соды она почти не отличалась от водной вытяжки и что поэтому тот хлористый натр, который образуется в растворе хлористого калия при воздействии последнего на почву, насыщенную натрием, сам по себе вследствие низкой концентрации очень незначительно уменьшает количество извлекаемых водой веществ; таким образом, получение раствором хлористого калия бесцветной вытяжки, почти не содержащей минеральных веществ и в частности соды, обусловливается присутствием самого хлористого калия, соединения, не имеющего общего иона с силикатами натрия и гуматом натрия и поэтому с вышеуказанной точки зрения долженствующего увеличивать, а не уменьшать растворимость этих соединений.

3. Растворы не всех натронных солей дают при воздействии на почву, насыщенную натрием, бесцветные, бедные минеральными веществами вытяжки: если вытяжку готовить 0,2 н. раствором соды, то получается интенсивно окрашенный, темный фильтрат; так как в данном случае раствором соды мы воздействуем на почву, уже насыщенную натрием, то здесь получение темноокрашенной вытяжки нельзя объяснить тем, что кальций гуматов дал с содой углекислый кальций, а натрий соды — гумат натрия, растворяющийся в вытяжке: наша почва, насыщенная натрием, уже вовсе не поглощает натрия. Такую же темноокрашенную вытяжку из этой почвы дает и раствор углекислого калия.

Таким образом, опыт этот показывает, что уменьшение растворимости минеральных и органических веществ обусловливается не тем, что воздействующая на почву соль имеет с силикатами натрия и гуматом натрия общий ион, а чем-то другим.

4. Если к бесцветной жидкости, полученной после оседания почвы, насыщенной натрием и взболтанной с 0,2 н. раствором хлористого натрия, прибавить несколько капель едкого натра или едкого кали и снова взболтать содержимое, то получается уже не бесцветная, а темноокрашенная жидкость.

Таковы факты, которые, с одной стороны, показывают, что понижающее действие солей натрия на образование соды в почве из водных силикатов натрия и гуматов натрия и на переход этих силикатов и гуматов

в раствор обусловливается не тем, что соли эти имеют общий положительный ион с этими почвенными соединениями; с другой же стороны, они дают и объяснение этому явлению.

Прежде всего укажу, что чернозем, насыщенный натрием, обращается в тело, чрезвычайно обогащенное коллоидальными органическими и минеральными веществами: в полужидком состоянии такая почва представляет собой клейкую и очень вязкую массу, схожую с дегтем; воду она отдает в открытом пространстве с большим трудом, а после высыхания дает ряд горизонтальных слоев, причем верхний слой состоит из наиболее мелких органических и минеральных частиц, следующий уже из более крупных и т. д.; количество органического вещества в этих слоях убывает сверху вниз. Такие же точно коллоидальные свойства приобретает почва, если ее предварительно обработать перекисью водорода до полного удаления органического вещества, а затем уже насытить натрием; вышеуказанное показывает, что гуматы и та часть силикатов почвы, которая способна на энергичный обмен своих оснований, после замещения в них тех оснований, с которыми они связаны в черноземах (преимущественно кальций), на натрий, превращаются в полуобратимые гели, обладающие резко выраженной способностью к набуханию *.

Эти коллоиды, как минеральные, так и органические, являются отрицательными коллоидами, а растворение таких коллоидов, переход их из геля в золь вызывается присутствием гидроксильных ионов, сообщающих им необходимый для этого перехода отрицательный заряд; вышеприведенные опыты действительно показывают, что раз жидкость имеет щелочную реакцию (водная вытяжка, вытяжка содой и вытяжка хлористым натром с прибавлением нескольких капель едкого натра), она извлекает сравнительно много и минеральных, и органических веществ из почвы, насыщенной натрием; поэтому причину значительного понижения количества минеральных и органических веществ в вытяжках растворами хлористого или сернокислого натра надо искать в том, что *соли эти понижают щелочность среды, уменьшают концентрацию зольобразующего иона* OH. Уменьшают же они ее следующим образом.

Связь натрия с почвенными силикатами, обладающими энергичной способностью к обмену своими основаниями, и органическим веществом никак нельзя признать, по крайней мере для главной массы этих соединений, за чисто химическую: против этого говорит, между прочим, та легкость, с какою эти соединения, будучи связаны с кальцием, обменивают этот последний на натрий хлористого натра, и самый ход этого обмена при последовательном многократном воздействии на эти соединения растворов хлористого натра и других хлористых солей **. Главную массу вышеуказанных соединений с натрием надо признать имеющими

* Подробнее на этих свойствах почвы, насыщенной различными основаниями, я остановлюсь в следующей статье.

** Подробнее, с цифровым материалом, это будет мною обосновано в следующей статье (см. статью на стр. 89 в наст. томе).

характер абсорбционных соединений *. При абсорбционных же соединениях, в отличие от химических, каждое новое количество поглощенного иона удерживается поглотителем все с меньшей силой; *в почве, насыщенной натрием, связь части натрия-иона с поглощающими его гуматами и цеолитообразными соединениями очень слаба; натрий обладает в этом случае, так сказать, большой упругостью растворения;* небольшие количества его освобождаются и дают в водной вытяжке соответствующие количества гидроксильного иона, обусловливающего щелочность водной вытяжки из почвы, насыщенной натрием, и вызывающего переход части минеральных и органических гелей в золь.

Прибавляя же к водной вытяжке хлористого натра или сернокислого натрия довольно высокой концентрации, мы сами вводим в раствор натрий-ион, т. е. создаем условия, противодействующие упругости растворения натрия из абсорбционных соединений его в почве; натрий этих соединений вследствие этого не переходит в раствор, не создает щелочной реакции и не дает нужного количества гидроксильного иона для заметного перехода гелей в золи.

С изложенной точки зрения понятно, почему соли натрия, имеющие сами по себе щелочную реакцию, например сода, действуют не так, как нейтральные его соли,— не уменьшают количеств минеральных и органических золей в вытяжке из почвы, насыщенной натрием; понятно также, почему раствор хлористого натра с прибавкой нескольких капель едкого натра дает не бесцветную вытяжку, как чистый раствор хлористого натра, а темноокрашенную. Нетрудно также объяснить и описанное в опыте 2 действие раствора хлористого калия на почву, насыщенную натрием; причиной понижения количества соды, а вместе с ним количеств минеральных и органических веществ, переходящих в воду в присутствии этой соли, является собственно не сам хлористый калий, а опять-таки вызываемое им понижение в жидкости количества свободного зольобразующего гидроксильного иона: натрий-ион и здесь вследствие большой

---

* Здесь, как и в предшествующих моих статьях, где мне приходилось касаться вопроса поглощения (см. «К вопросу об изменяемости концентрации почвенного раствора и содержания в почве легкорастворимых соединений, в зависимости от внешних условий». Журн. оп. агр., 1906, т. VII, стр. 539; «Материалы к вопросу о влиянии на растения кислот щелочей и некоторых неорг. солей», там же, 1910, т. XI, стр. 571), я, согласно Van-Bammelen'у, отличаю адсорбцию от абсорбции, т. е. чисто механическое поглощение, обусловливаемое поверхностным натяжением, от поглощения также не с химическим характером, но обусловливаемого не поверхностным натяжением, а иными причинами, еще недостаточно изученными; в настоящее время в коллоидальной химии, не так давно изгнавшей из употребления термин «абсорбция» и объединившей поглощение вообще под именем адсорбция, ясно намечается опять течение в пользу признания поглощения, обусловливаемого не химическим родством, но и не поверхностным натяжением; в этом отношении очень интересной является работа *L. Michaelis'a* (Ueber die Adsorption der Neutralsalze. Kolloid-Ztschr., 1911, Bd. IX, S. 275); в ней автор устанавливает, что поглощение неэлектролитов и слабых электролитов носит иной характер, нежели поглощение сильных электролитов, и пытаются доказать. что различие это обусловливается тем, что причиной поглощения первых является поверхностное натяжение, а вторых — электрические свойства.

упругости растворения переходит в раствор, но он связывается с хлор-ионом, а калий поглощается почвой, так как поглощающие вещества почвы, насыщенной натрием, лишены калия и обладают поэтому в отношении его громадной поглотительной способностью; как только же мы вместо чистого раствора хлористого калия возьмем раствор его, содержащий несколько капель едкого натра или калия, то снова, как и в опыте с таким же раствором хлористого натра, получаем вытяжку, богатую минеральными и органическими золями.

Наконец, с этой же точки зрения понятно, почему почва, насыщенная натрием, давая в присутствии углекислого кальция в чистой воде большие количества соды, в растворах хлористого или сернокислого натра не дает или дает очень мало этого соединения. Мы видели, что углекислый кальций с раствором хлористого натра не дает соды, так как углекислый кальций трудно растворим, а оба продукта взаимного обмена этих солей — вещества легко растворимые; при таких условиях реакция взаимного обмена основаниями не может происходить между химическими соединениями.

В системе: почва, насыщенная натрием, + углекислый кальций, казалось бы, мы имеем условия во всяком случае не более благоприятные, так как здесь и второе начальное вещество трудно растворимое; конечно, в данном случае реакции взаимного обмена благоприятствует то обстоятельство, что один из продуктов обмена — силикат и гумат кальция, еще менее растворим, нежели начальное вещество — силикат и гумат натрия, но и при обратном отношении, когда начальным веществом является гумат и силикат кальция, а конечным — более растворимые гумат и силикат натрия (в системе чернозем + хлористый натрий) — реакция взаимного обмена основаниями идет, как известно, очень энергично.

Таким образом, в реакции обмена основаниями между системами, состоящими, с одной стороны, из таких определенных химических соединений, как хлористый натр и углекислый кальций, а с другой стороны, между одной из этих солей и соответственно гуматами и силикатами кальция или натрия, замечается существенное различие: в то время как для первых систем для реакции взаимного обмена необходимо, чтобы один из продуктов обмена был менее растворим, нежели первоначальное вещество, для вторых это условие может и отсутствовать; различие это обусловливается, по моему мнению, именно иным характером соединений органических и цеолитообразных веществ почвы с основаниями — их абсорбционной природой и коллоидальными свойствами этих продуктов замещения; такое соединение будет тем энергичнее обменивать свое основание на основание находящейся в растворе соли, чем выше упругость растворения его основания, т. е. чем полнее это соединение насыщено данным основанием и чем больше концентрация раствора соли, находящейся с ним в соприкосновении; если мы к системе: почва, насыщенная натрием, + углекислый кальций, прибавим раствора хлористого натра, то этим парализуем, так сказать, действие упругости растворения насыщающего почву натрия и почти прекратим обмен основаниями, т. е. образова-

ние соды *; увеличивая же при тех же условиях концентрацию углекислого кальция в растворе пропусканием углекислоты, получаем вместе с тем и больше соды, но опять-таки значительно меньше, чем в случае пропускания углекислоты в отсутствие хлористого натра **.

Резюмирую кратко результаты вышеизложенных исследований.

1. Главным источником соды в щелочных солонцах являются продукты присоединения натрия к органическим веществам и силикатам; все ли натронные соединения органических веществ или только часть и какая именно принимает участие в образовании соды, мне выяснить еще не удалось; относительно же натронных соединений минеральной части исследование показывает, что в образовании соды принимает участие та их часть, которая отличается высокой поглотительной способностью, т. е. так называемая цеолитная часть почвы.

2. Образование соды из этих натронных соединений происходит, во-первых, путем разложения их водой, причем углекислота играет в этом процессе существенную роль, а во-вторых, и в гораздо более энергичной степени,— путем обмена натрия этих соединений на кальций углекислого кальция.

3. Образование соды в почве из хлористого натра и углекислого кальция не имеет места; образование же из сернокислого натра и углекислого кальция, при сравнительно высокой концентрации первого, хотя и происходит, но такой способ возникновения соды имеет гораздо меньше значения, нежели вышеприведенные.

4. Роль хлористого и сернокислого натра в образовании соды косвенная,— соли эти являются источниками натрия для натронных соединений органических и цеолитообразных веществ почвы.

5. Присутствие хлористого и сернокислого натра в почве препятствует образованию соды из органических и цеолитообразных соединений, насыщенных натрием. Ряд фактов показывает, что такое влияние этих солей нельзя объяснять уменьшением растворимости натронных соединений органических и минеральных веществ почвы под влиянием присутствия больших количеств электролита, имеющего с ними общий ион.

6. Ход постепенного вытеснения из чернозема оснований последовательным воздействием раствора хлористого натра, и обратно, вытеснение кальцием натрия из насыщенного таким образом натрием чернозема при последовательном воздействии растворами хлористого кальция, показывает, что связь органического вещества и цеолитообразных соединений почвы с основаниями в главной массе не химического, а абсорбционного (в смысле van-Bemmelen'a) характера. Вместе с тем опыты показывают, что в почве, в которой прочие основания, насколько возможно, заменены

---

* Водная вытяжка из почвы, насыщенной натрием,+углекислый кальций давала 0,722 *г* $NaHCO_3$ на 100 *г* почвы, а в присутствии 0,2 н. раствора хлористого натрия — всего 0,030 *г*.

** При 3-часовом пропускании углекислоты через 0,2 н. раствор хлористого натра, почву, насыщенную натрием, и углекислый кальций, получено 0,239 *г* $NaHCO_3$ на 100 *г* почвы, а в отсутствие хлористого натра — 1,415 *г*.

натрием, органические и цеолитообразные вещества приобретают свойства полуобратимых коллоидов (т. е. они в чистой воде с трудом переходят в золи, но вместе с тем сильно набухают и дают вязкую и клейкую массу), и что переходу в золи этих коллоидов благоприятствует присутствие гидроксильного иона.

7. Принимая во внимание вышеуказанные свойства органических и цеолитообразных веществ почвы, насыщенных натрием, легко объяснить и процесс образования из них соды, и неблагоприятное влияние на этот процесс хлористого и сернокислого натра.

3. СОЛОНЦЫ И СОЛОНЧАКИ

В связи с изложенным в предшествующей главе объяснением процесса образования соды в почве выскажу несколько соображений, вытекающих из предшествующего, относительно солонцов (щелочных почв, черных солонцов, структурных солонцов) и солончаков.

В предыдущем установлено, во-первых, что в солонцах источником соды являются почти исключительно обогащенные натрием органические и цеолитоподобные соединения, и, во-вторых, что другие растворимые натронные соли (например, хлористый и сернокислый натр) препятствуют (хлористый натр в большей степени, сернокислый — в меньшей степени) образованию соды.

Первое положение приводит нас к выводу, что *солонцы* (или, вернее сказать, те их слои, которые обнаруживают щелочную реакцию) *представляют собою почвы, цеолитная и органическая часть которых в большей или меньшей степени обогащена натрием* по сравнению с почвами не щелочного характера; источником этого натрия были почвенные растворы, богатые натронными солями (хлористым и сернокислым натром), поэтому щелочные солонцы по своему происхождению тесно связаны с солончаками: *солонец возникает из солончака.*

В солончаках, благодаря высокой концентрации их почвенных растворов, процессы выветривания идут несколько иначе, нежели в почвах обычных, бедных растворимыми солями; для нас в данном случае безразлично, каков источник солей солончаков: подымаются ли они в верхние слои из соленосного грунта, приносятся ли они с окружающих более высоких мест, или попадают в почву с атмосферными осадками; раз почвенный раствор богат солями,— то с ними уже совершенно невозможно не считаться в процессах выветривания и почвообразования: если в обычных почвах роль почвенного раствора в отношении содержащихся в нем солей быть может и отступает на задний план среди других факторов выветривания и почвообразования, то в солончаках роль эта очень существенна. Качественный состав их почвенных растворов (значительное преобладание натронных солей соляной и серной кислот) обусловливает возникновение таких почвенных образований, продукты выветривания, цеолитная часть и органические вещества которых в большей или

меньшей степени обогащены натрием за счет других оснований; вследствие этого такие почвы обогащены соединениями коллоидального характера, способными при благоприятных условиях сильно набухать, делающими почву во влажном состоянии вязкой и клейкой, а в сухом вызывающими образование в почве особой структуры с более или менее крупными и плотно сложенными отдельностями.

Такие благоприятные условия для проявления свойств полуобратимых коллоидов в этих почвах наступают, как мы видели выше, тогда, когда солончак вследствие каких-либо причин обедняется содержащимся в нем хлористым или сернокислым натрием; тогда, с одной стороны, исчезают электролиты, свертывающие коллоиды, и с другой стороны, появляется необходимая для перехода почвенных гелей в золи щелочная реакция и начинается, если присутствует углекислый кальций, обменная реакция натрия почвенных цеолитов и гуматов на кальций $CaCO_3$ с образованием соды; получаем тогда солонец со всеми его особенностями.

Так как минеральная и органическая часть почвы в солонцах, благодаря свойствам натронных цеолитов и гуматов и щелочной реакции почвенного раствора, обладает сравнительно очень высокой растворимостью, то образовавшийся солонец даже при сравнительно небольшом количестве атмосферных осадков должен подвергаться сравнительно быстрому выщелачиванию верхних слоев с обеднением их органическим веществом и цеолитной частью и с относительным обогащением их кремнекислотой *; но так как, судя по крайней мере по имеющимся данным **, промокание в столбчатых солонцах не глубоко, доходит лишь до горизонта B_3, а если идет дальше, то лишь по трещинам, то естественно, что энергичному выщелачиванию в образовавшемся из солончака столбчатом солонце подвергаются лишь самые верхние слои A и B_1, горизонт же B_2 обычно является наиболее богатым и содой и другими воднорастворимыми соединениями.

Присутствие хлористого натра в большей степени препятствует возникновению щелочной реакции, нежели присутствие сернокислого натра; поэтому солончаки, богатые первым, должны быть сильнее выщелочены для того, чтобы перейти в солонцы, нежели солончаки, богатые сернокислым натрием и сравнительно бедные поваренной солью.

Могут быть, конечно, такие солонцы, или такие слои в солонцах, в которых сода является не местного происхождения, а бо́льшая или меньшая часть ее принесена сюда или с рядом лежащих мест, или же из других слоев; такие случаи легко обнаруживаются исследованием последовательных водных вытяжек: как мы видели выше, в ряде последова-

---

* Если почвенный раствор, содержащий сравнительно много кремнекислоты (что и имеет место в солонцах), высохнет, то коллоидальная кремнекислота частью потеряет уже способность снова растворяться даже в присутствии соды; поэтому в выщелачиваемых, верхних слоях солонца всегда будет иметь место относительное обогащение кремнекислотой.

** *С. Чаянов.* Влажность почвы на типичных почвах полупустыни и столбчатых солонцах...— Журн. оп. агр., т. 12, 1911, стр. 321.

тельных вытяжек из столбчатого горизонта структурного солонца количество соды изменяется очень слабо; в каждой из таких вытяжек сода в большей своей части образуется при приготовлении самой вытяжки, как результат взаимного обмена оснований почвенных соединений или как результат разлагающего действия воды на эти соединения; если же почва содержит уже сама по себе более или менее значительные количества углекислого натра, то в следующих после первой водных вытяжках должен обнаружиться резкий скачок в содержании соды, так как готовая сода будет почти вся удалена с первой вытяжкой. Для примера приведу данные водных вытяжек (в граммах на 100 *г* почвы) для одного солонца Забайкальской области:

Слои	1-я водная вытяжка					2-я водная вытяжка		
	общ. щелочность, HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	Cl	SO_3	общ. щелочность, HCO_3	Na_2CO_3	$NaHCO_3$
1 (корка)	17,117	12,253	4,149	0,004	9,259	0,648	0,811	0,224
2	0,402	0,424	0,198	0,002	0,173	0,504	0,518	0,260
3	0,174	0,184	0,086	0,001	0,069	0,180	0,160	0,112
4	0,108	0,093	0,069	0,001	0,060	0,093	0,080	0,061
5	0,114	0,049	0,072	0,001	0,058	0,075	0,045	0,065

Таблица показывает, что во 2-м, 3-м, 4-м и 5-м слоях вторая последовательная водная вытяжка извлекает почти столько же соды, как и соответствующая 1-я водная вытяжка; здесь имеется, таким образом, источник образования соды, и она возникает каждый раз при приготовлении водной вытяжки; в 1-м же слое (корке) первая водная вытяжка извлекла громадное количество соды (17,117 *г* HCO_3 из 100 *г* почвы), 2-я же водная вытяжка приблизительно в 30 раз меньше (0,648 *г* HCO_3); таким образом, большая часть соды, извлеченная 1-й водной вытяжкой, находилась в 1-м слое рассматриваемой почвы как таковая, в виде готовой соли; она вместе с сернокислым натрием (которого в этом слое 16,3%) постепенно вносилась сюда из нижележащих слоев и постепенно накапливалась в самом поверхностном слое почвы.

В заключение скажу несколько слов относительно борьбы с солончаками и солонцами. С точки зрения развитой мною теории происхождения соды в почве вытекает, что улучшение солончаков применением искусственного орошения в том случае, когда способ орошения достигает своей цели, т. е. растворимые соли действительно уносятся вон из почвы, и почва обедняется ими, должно привести к образованию щелочного солонца; степень щелочности такого солонца будет находиться в зависимости от содержания в почве поглощающих веществ (цеолитной части и гу-

муса); чем почва богаче этими соединениями, чем она глинистее, тем более щелочным будет образовавшийся солонец; таким образом, искусственное орошение не улучшит в сельскохозяйственном отношении солончаков, по крайней мере таких, в которых содержание поглощающих веществ переходит известную границу, а ухудшит, так как большая ядовитость для растений соды сравнительно с хлористым и сернокислым натром несомненна.

Нельзя или по крайней мере чрезвычайно трудно улучшить орошением и щелочный солонец; если бы вопрос заключался только в том, чтобы удалить имеющуюся в нем соду или кроме того сернокислый и хлористый натр, как источники ее, по теории Гильгарда, то, несмотря на обычно трудно проницаемый для воды горизонт B_2, можно было бы все-таки надеяться, при достаточном количестве воды, до известной степени обезвредить солонец; но раз сода постоянно вновь образуется в почвенном растворе из трудно растворимых органических и цеолитообразных соединений натрия, то для достижения указанной цели необходимо уже вымыть бо́льшую часть этих соединений; очевидно, что задача эта едва ли выполнима, и к тому же оставшаяся после этого промывания почва, почти без органического вещества и цеолитной части, едва ли имела бы сельскохозяйственную ценность.

Целесообразным методом борьбы как с солончаками, так и с солонцами, по моему мнению, является соединение достаточного искусственного орошения со способом, предложенным Гильгардом для улучшения солонцов,— с внесением в почву гипса. Но так как с точки зрения изложенной выше теории образования в почве соды для улучшения солончака и солонца необходимо, кроме удаления из них имеющихся в них легко растворимых солей и в том числе соды, вытеснить бо́льшую или меньшую часть натрия цеолитных и органических веществ, то гипс должен вноситься в такие почвы в значительно бо́льших количествах, чем это указывалось Гильгардом; требуемое количество может быть найдено определением цеолитного и органического натрия (по данным 10%-ной солянокислой вытяжки за вычетом натрия хлористого и сернокислого натрия) на основании следующих соображений: для вытеснения из слоя почв в 4 вершка 0,1% Na_2O необходимо на десятину около 300 пудов $CaSO_4+2H_2O$; принимая во внимание трудность равномерного распределения гипса и невозможность тщательного перемешивания с почвой, количество это должно быть еще увеличено.

Мои предварительные опыты показывают, что при тщательном смешении гипса с почвой, насыщенной натрием, и при достаточном количестве воды вытеснение натрия идет очень быстро и довольно полно.

II*. СКОРОСТЬ ОБМЕННЫХ РЕАКЦИЙ В ПОЧВЕ. КОЛЛОИДАЛЬНОСТЬ ПОЧВ, НАСЫЩЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ОСНОВАНИЯМИ, И КРАСОЧНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА КОЛЛОИДОВ В ПОЧВЕ[1]

1. СКОРОСТЬ ОБМЕННЫХ РЕАКЦИЙ В ПОЧВЕ

Всякая почва содержит в зависимости от своего происхождения больше или меньше органических и минеральных веществ, основания которых способны к энергичному обмену с другими основаниями соляных растворов; природа этих почвенных соединений до настоящего времени не установлена; мы с определенностью не можем еще сказать, какова связь оснований в этих соединениях: химическая ли, или чисто физическая, адсорпционная, или, наконец, физико-химическая, абсорпционная. Такая неопределенность в данном вопросе обусловливается отсутствием у нас способа, позволявшего бы непосредственным опытом разрешить его.

В коллоидальной химии признается, что если поглощение исследуемым веществом того или другого иона из соляных растворов при изменении концентрации последних идет согласно уравнению

$$\frac{x}{m} = Kc^{\frac{1}{n}}$$

($\frac{x}{m}$ — количество поглощенного вещества на 1 *г* поглотителя, K и $\frac{1}{n}$ — постоянные, зависящие от природы участвующих веществ, c — конечная концентрация раствора), то процесс поглощения представляет адсорпцию и получающееся соединение — адсорпционное; использование этого критериума для решения интересующего нас вопроса наталкивается, по нашему мнению, на серьезное затруднение.

При изучении поглощения в коллоидальной химии имеют дело с чистым поглотителем, например углем, или тем или другим гелем; те продукты, которые получаются в результате поглощения поглотителем тех или других ионов, насколько нам известно, сами по себе в коллоидальной химии вообще не подвергались исследованию; там, как это и показывает выше приведенное уравнение, чем выше концентрация поглощаемого вещества, тем большее количество его поглощается чистым поглотителем **;

---

* См. Журн. оп. агр., т. 13, 1912, стр. 363.

** Отметим, что в последнее время значения уравнения Freundlich'a как критериума для решения вопроса о том, имеет ли место при поглощении даже чистыми поглотителями адсорпция, подвергнуто сомнению главным образом исследованиями G. Schmidt'a (Ueber Adsorption von Lösungen.— Ztschr. f. Physik, Chem., 1910, B. 74, S. 689), показавшими, что при поглощении углем различных соединений из раствора x/m не возрастает все время, а имеется максимум поглощения.

[1] Воспроизводится по статье, опубликованной в Журнале опытной агрономии, т. 15, кн. 3, 1914.

мы же имеем дело в почве не с чистыми поглотителями, а уже с продуктами поглощения; причем, как показывают все имеющиеся до сих пор исследования, эти почвенные продукты поглощения вполне насыщены основаниями, так как какой бы концентрации раствор соли мы не приводили в соприкосновение с нормальными почвами, общая концентрация (в эквивалентах) оснований в растворе не изменяется; качественный состав ее меняется, конечно, и в зависимости от концентрации взятого раствора, но общая концентрация остается та же: на каждый эквивалент основания, поглощенного почвою из раствора, выделяется из почвы других оснований в сумме один эквивалент *. Поэтому хотя поглощение почвою основания из растворов данной соли при различных концентрациях последней и идет согласно изотерме адсорпции, как показывают, например, исследования Wiegner'a **, но общая картина взаимодействия между почвою и растворами, так сказать, чисто химическая, с обменом эквивалента на эквивалент.

Правда, между минеральными почвами встречаются такие, цеолитная часть которых ненасыщена основаниями ***; но, во-первых, таких почв, кажется, сравнительно немного, а главное, степень ненасыщенности их очень мала, и воспользоваться ими для исследования хода поглощения поэтому не представляется возможным.

---

* Это обстоятельство, по-видимому, было вовсе не принято во внимание A. Rindel'ем, когда он в статье «Несколько замечаний относительно абсорптивно-насыщенных и ненасыщенных почв» (Почвоведение, 1912, стр. 1; реф. в Журн. оп. агрономии, 1913, т. IV, стр. 586) писал, что деление почв на насыщенные и ненасыщенные, как не имеющее определенного смысла, следует отбросить, так как количество вещества, необходимое и достаточное для насыщения, не имеет абсолютного значения, ибо оно зависит от концентрации соприкасающегося с коллоидом раствора. Для коллоидов это может быть и так, но в отношении минеральных почв еще задолго до исследований Schmidt'a (см. сноску выше) было известно, что обмен их оснований на основания соляных растворов происходит в эквивалентных количествах; и в этом отношении термин «почва, насыщенная основаниями»,— термин вполне определенный, не вызывающий каких-либо недоразумений. В последнее же время среди минеральных почв (см. *Kozai*. Chem. Zeit, 1908, S. 1187, и наши статьи, указанные в следующей сноске) были обнаружены и такие почвы, которые хотя в очень слабой степени, но все-таки и при современных методах исследования ясно обнаруживают ненасыщенность, но эта ненасыщенность настолько слаба, что уже при соприкосновении таких почв с 0,1 н. раствором хлористого натра почва вполне насыщается; дальнейшее повышение концентрации уже не повышает количества освобождающейся из хлористого натра кислоты; таким образом, и термин «почва, ненасыщенная основаниями», имеет вполне определенный смысл; может оказаться, конечно, что встретятся такие почвы, для насыщения которых надо будет применять более концентрированные растворы солей, но это уже относится к области методики определения, а не к существу вопроса; само собою разумеется, что в дальнейшем методы исследования должны развиться; эти понятия может быть и видоизменятся, но мы понятиям «почва насыщенная» и «почва ненасыщенная» основаниями придаем значение «не потому, что мы предполагаем, а потому, что мы знаем» об этих состояниях в настоящее время.

** *G. Weigner*. Zum Basenaustausch in der Ackererde.— Journ. f. Landw., B. 60, S. 111 и 197; реф. в Журн. оп. агр., т. 14, 1913.

*** *К. Гедройц*. На каких почвах действует фосфорит. Почвы, насыщенные и ненасыщенные основаниями.— Журн. оп. агр., т. 12, 1911, стр. 529. Еще о почвах, на которых действует фосфорит. Там же, стр. 811. (См. также стр. 37 и 46 в наст. томе).

Таким образом, непосредственного приема для доказательства характера соединения оснований в почвенных веществах, обладающих высокой поглотительной способностью, мы не имеем; тем существеннее для нас те косвенные соображения, которые могут быть приведены для решения означенного вопроса. Одним из таких косвенных фактов является скорость реакции обмена оснований между почвою и соприкасающимся с нею соляным раствором.

Как известно, химические реакции протекают во времени; для установления равновесия между взаимодействующими веществами здесь всегда нужен более или менее продолжительный промежуток времени; поглощение же вещества физическое, поверхностью, согласно имеющимся данным, происходит моментально *. Относительно скорости обмена оснований почвы на основания соляных растворов еще Way показал, что скорость эта большая.

В нашем распоряжении имеются данные, полученные нами для скорости реакции вытеснения кальция из почвы 0,1 н. растворами хлористого натрия и аммония и параллельно для скорости реакции взаимного обмена между фосфорнооднонатриевой солью и углекислым кальцием.

а) ВЫТЕСНЕНИЕ КАЛЬЦИЯ ИЗ ПОЧВЫ РАСТВОРОМ ХЛОРИСТОГО НАТРА

Навески по 100 *г* суглинистого чернозема обрабатывались различное время 500 *см*³ 1,0 н. раствора хлористого натра. Вот результаты этого опыта.

Количество CaO, *г*, вытесненное из 100 *г* почвы **

1) 5-секундное встряхивание и немедленная фильтрация	0,1223
2) 1,5-минутное » » »	0,1222
3) 5 » » » »	0,1210
4) 3 » » и фильтрация через 1 час	0,1238
5) 3 » » » » сутки	0,1220
6) 3-дневное стояние, каждый день 3-минутное встряхивание	0,1234
7) 7 » » » » » »	0,1218
8) 1,5-месячное стояние, почти каждый день 3-минутное встряхивание	0,1239
9) 3-месячной » » » » » »	0,1251
10) 14 » » » » » » »	0,1263

Во всех случаях, кроме второго, определения велись в двух порциях из того же фильтрата; нами приведены средние цифры; для 1,5-минутного взбалтывания было взято 10 отдельных навесок, и в каждом фильтрате

---

* *H. Freundlich.* Kapillarchemie. Leipzig, 1909, S. 172.

** Анализ производился автором совместно с. К. Я. Кревсом.

определялась известь; для суждения о пределах ошибки применявшегося метода приводим эти данные:

0,1212	0,1228
0,1210	0,1230
0,1220	0,1214
0,1217	0,1248
0,1227	0,1221

Среднее $0{,}1222 \pm 0{,}00024$

Все полученные данные, за исключением двух последних (3- и 14-месячное стояние), если принять во внимание пределы точности анализа, нужно признать за тождественные; небольшое отклонение в последних двух случаях, выходящее несколько за пределы точности, мы склонны приписать тем процессам, которые могли происходить в почве при таком продолжительном ее стоянии под водою; но во всяком случае, если даже эти отклонения признать за результат дальнейшего вытеснения кальция натрием, то ввиду ничтожности их (после 14-месячного стояния вытеснено на 3% CaO больше, чем при 5-секундном воздействии раствора на почву), все-таки придется признать, что *реакция вытеснения извести из почвы натрием хлористого натра протекает моментально.*

в) ВЫТЕСНЕНИЕ КАЛЬЦИЯ ИЗ ПОЧВЫ РАСТВОРОМ ХЛОРИСТОГО АММОНИЯ

В этом исследовании 1,0 н. раствором хлористого аммония вытеснялась известь из того же чернозема, какой был в предшествующем опыте, и кроме того из того же чернозема, но предварительно насыщенного кальцием посредством 20-кратной последовательной обработки его 1,0 н. раствором хлористого кальция (с последующим полным удалением хлора диализом). В том и другом случае 50 *г* почвы обрабатывались 500 *см*^{3} раствора хлористого аммония указанной концентрации. Результаты вытеснения извести в этих двух опытах получились следующие.

Количество CaO, *г*, вытесненной из 100 *г* первоначальной почвы

1) 5-секундное встряхивание и немедленная фильтрация	0,1260
2) 3-минутное » » »	0,1610
3) » » и фильтрация через 5 часов	0,1629
4) » » » » 1 сутки	0,1614
5) 3-дневное стояние, каждый день 3-минутное встряхивание	0,1640

Количество CaO, *г*, вытесненной из 100 *г* почвы, насыщенной кальцием

1) 5-секундное встряхивание и немедленная фильтрация	0,1972
2) 3-минутное » » »	0,3408
3) 3 » » и фильтрация через 5 часов	0,3420
4) 2-дневное стояние, каждый день 3-минутное встряхивание	0,3425

В обоих случаях, как видно из приведенных цифр, картина вытеснения извести из почвы аммонием одна и та же: при 5-секундном соприкосновении почвы с раствором хлористого аммония не наступает еще равновесия между кальцием, входящим в состав почвы, и аммонием раствора хлористого аммония; но уже 3-минутного соприкосновения достаточно для установления этого равновесия, и дальнейшее воздействие между почвою и раствором хлористого аммония вовсе не повышает количества вытесняемого из почвы кальция. Таким образом, *реакция взаимного обмена между кальцием почвы и аммонием раствора хлористого аммония происходит хотя и не моментально, как реакция обмена кальция на натрий, но во всяком случае чрезвычайно быстро.*

с) РЕАКЦИЯ ВЗАИМНОГО ОБМЕНА ОСНОВАНИЯМИ МЕЖДУ ФОСФОРНООДНОНАТРИЕВОЙ СОЛЬЮ И УГЛЕКИСЛЫМ КАЛЬЦИЕМ

К 500 *см*³ раствора однонатриевого фосфата, содержащего 2,9646 *г* P_2O_5, прибавлялось 60 *г* углекислого кальция. Содержимое склянок ежедневно взбалтывалось в течение трех минут. По прошествии указанного ниже времени в жидкости определялось содержание оставшейся в растворе фосфорной кислоты. Вот результат одного из подобных опытов:

P_2O_5, *г*	Взаимодействие между NaH_2PO_4 и $CaCO_3$ продолжалось			
	24 часа	8 дней	18 дней	28 дней
Осталось в растворе	1,3796	0,4562	0,4463	0,4400
Перешло в нерастворимое состояние	1,5850	2,5084	2,5183	2,5246

Таким образом, скорость реакции обмена основаниями в случае однонатриевого фосфата и углекислого кальция значительно медленнее, нежели в случае почвы и хлористого натрия или аммония: в первом случае равновесие устанавливалось лишь по прошествии около 18 суток, тогда как во втором оно достигалось почти моментально. А между тем внешние условия реакции в обоих случаях очень схожи: и здесь и там одно из первоначальных веществ в растворе, другое очень трудно растворимое, один из продуктов обмена растворим, другой — трудно растворим. Очевидно, *характер связи вытесняемого кальция в почве иной, чем в углекислом кальции; связь эта не химическая, а иного характера.*

Мы не беремся решать вопроса, представляет ли соединение вытесняемого из почвы кальция с теми веществами почвы, с которыми он связан, адсорпцию или абсорпцию; для этого у нас нет данных; обычно допускают, что при образовании твердого раствора (абсорпция), при котором поглощаемое вещество проникает внутрь поглотителя, равновесие достигается через больший или меньший промежуток времени, и потому

моментальный характер поглощения считают за признак чисто поверхностного поглощения, адсорпции; но в тех случаях, когда поглощение происходит не массивными твердыми телами (например, уплотнение газов на поверхности твердого тела), а веществами, имеющими структуру гелей (тончайшие пластинки), там, очевидно, и проникновение внутрь (абсорпция) может происходить с очень большой скоростью *.

2. КОЛЛОИДАЛЬНОСТЬ ПОЧВ, НАСЫЩЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ОСНОВАНИЯМИ, И КРАСОЧНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА КОЛЛОИДОВ В ПОЧВЕ

Вместе с проникновением в почвоведение идей коллоидальной химии стал на очередь и вопрос об определении количества веществ в почве, находящихся там в коллоидальном состоянии. И в настоящее время мы уже имеем ряд попыток дать подходящий способ к количественному определению этих веществ. Попытки эти основаны на двух различных принципах.

Принцип, положенный Van-Bemmelen'ом в его способе определения количества коллоидальных веществ в почве **, заключается в следующем.

1. Почвы содержат кроме неколлоидальных веществ (химические, простые соли, кварц и обломки кристаллических силикатов) продукты выветривания силикатов. Последние распадаются на две группы: на аморфные коллоидальные силикаты (цеолитообразные вещества почвы, силикат А, по терминологии Van-Bemmelen'a) и на каолинизированный силикат (силикат В), близкий к кристаллическому каолиниту и являющийся, по всей вероятности, микрокристаллическим.

2. Последовательная обработка почвы соляной и серной кислотами дает возможность приблизительно разделить и выделить эти две группы продуктов выветривания. При обработке почвы кипящей крепкой соляной кислотой (уд. вес 1,19) силикат А разлагается, содержащиеся в нем алюминий, железо, все остальные основания и незначительное количество SiO_2 переходят в раствор, остальная же его кремнекислота выпадает в виде геля и может быть извлечена из остатка почвы обработкой ще-

---

* См. *Zsigmondy*. Kolloidchemie. Leipzig, 1912, S. 60.

** Способ этот описан Van-Bemmelen'ом в следующих его статьях:

Die Absorptionsverbindungen und das Absorptionsvermögen der Ackererde. (Сборник «Die Absorption», Dresden, 1910, S. 115);

Beiträge zur Kenntnis der Verwitterungsprodukte der Silikate in Ton, Vulkanischen und Laterit-Böden.— Ztschr. f. Anorg. Chem., 1904, Bd. 42, S. 266.— Реф. в Журн. оп. агр., т. 7, 1906, стр. 257.

Die Verwitterung der Tonböden.— Ztschr. f. Anorg. Chem., 1909, Bd. 62, стр. 221.— Реф. в Журн. оп. агр., т. 12, 1911, стр. 54.

Die verschiedenen Arten der Verwitterung der Silikatges teine in der Erdrinde.— (Ztschr. f. Anorg. Chem., 1910, Bd. 66, S. 322.— Реф. в Журн. оп. агр., т. 12, 1911, стр. 56). См. также *D. Hissink*. Die Kolloidalen Stoffe im Boden und ihre Bestimmung.— Gidenkboek aan geboden aan. J. M. Van Bemmelen, 1910, S. 60.

лочью. Вместе с указанными составными частями силиката А в солянокислую вытяжку переходит и свободная коллоидальная окись железа, а также основания, связанные с гуминовыми веществами. Свободная коллоидальная кремнекислота почвы будет выделена вместе с выпавшей кремнекислотой силиката А при обработке остатка щелочью. При обработке остатка почвы от щелочной вытяжки (после солянокислой) крепкой серной кислотой разлагается силикат В, в раствор переходит алюминий и выпадает SiO_2; отношение между Al_2O_3 и SiO_2 этого силиката приблизительно равно 1:2.

Таким образом, метод Van Bemmelen'а для выделения и учета в почвах общего количества коллоидальных веществ (за исключением гумуса) — солянокислая вытяжка с последующей обработкой остатка щелочью, т. е. тот же способ, который русскими почвоведами применяется давно для определения «цеолитной части» почвы.

Другой ряд способов основан на поглощении красок. Поглощение краски из раствора различными мелкораздробленными веществами многими исследователями принимается за процесс чисто физический, за адсорпцию; если это действительно так, то чем мельче будет распылен поглотитель, чем больше его поверхность, тем весовая единица его больше поглотит краски; поэтому чем больше почва будет содержать коллоидальных веществ, тем больше она будет поглощать краски.

Первая попытка применить краски к сравнительному суждению о количестве коллоидальных веществ в различных почвах принадлежит, насколько нам известно, B. Sjollema *: небольшое количество почвы обрабатывается раствором краски, и после удаления жидкости общее количество окрашенных веществ в различных почвах сравнивается под микроскопом; применением различных красок, окрашивающих то ту, то другую составную часть почвы, можно определить относительное содержание в почве различных коллоидальных веществ.

Дальнейшее развитие того же принципа мы видим у K Endell'я **: приготовляется для проекции препарат из исследуемого вещества в канадском бальзаме, окрашивается концентрированным холодным раствором фуксина, проектируется на фотографическую пластинку при увеличении в 280 раз; для приблизительного количественного определения коллоидальных (окрашенных) веществ препарата вырезают черные части фотографии; вес этих частей в процентах от веса всей фотографии даст процентное содержание коллоидов.

Другие исследователи использовали поглощение красок почвами для определения количества коллоидов иным способом: определенный раствор той или другой краски взбалтывается с известным количеством почвы и определяется количество остающейся в растворе краски колориметри-

---

* *B. Sjollema.* Anwendung von Farbstoffen bei Bodenuntersuchungen.— J. f. Landwirtschaft, 1905, S. 67.— Реф. в Журн. оп. агр., т. 6, 1905, стр. 764.

** *K. Endell.* Zur quantitativen Bestimmung der Kolloids in Tonen.— Koll.-Zts., 1909, т. V. стр. 244.— Реф. в Журн. оп. агр., т. 12, 1911, стр. 142.

Количество CaO (г), вытесняемой из 100 г суглинистого чернозема при последовательной

Раствор	Обработка								
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я
1,0 н. NaCl	0,611	0,300	0,140	0,100	0,058	0,050	0,040	0,030	0,029
1,0 н. KCl	0,612	0,298	0,138	0,091	0,058	0,040	0,040	0,031	0,031
1,0 н. NH_4Cl	0,610	0,313	0,172	0,099	0,068	0,051	0,042	0,029	0,029
0,2 н. NaCl	0,286	0,183	0,125	0,089	0,067	0,058	0,056	0,052	0,051
4,0 н. NaCl	0,794	0,357	0,197	0,086	0,062	0,044	0,035	0,028	0,022
4,0 н. NH_4Cl	0,823	0,364	0,184	0,080	0,059	0,041	0,032	0,025	0,020

* Анализ произведен автором совместно с К. Я. Кревсом.

чески или титрованием. Так, J. Konig с сотрудниками * применили для этой цели метил-виолет, H. Aschley ** — малахитовую зеленую, M. Gorski *** — кристалл-виолет.

О методе Van Bemmelen'a мы в настоящей статье говорить не будем, так как наши исследования с вытеснением и поглощением почвою различных оснований еще не закончены; но при этих исследованиях нам пришлось столкнуться с методом поглощения красок, и мы получили некоторый материал, позволяющий нам высказаться о применимости этого метода.

При определении коллоидальных веществ в почвах мы должны прежде всего решить вопрос, что собственно нам желательно определить. Нам лично этот вопрос представляется таким образом.

Содержащиеся в почве вещества могут быть разделены на две довольно резко ограниченные группы: 1. Группа веществ, обладающих высоковыраженной способностью к обмену заключающихся в ней оснований на основании соляных растворов, приводимых в соприкосновение с этою группой веществ; 2. Группа веществ, у которых означенная способность значительно ниже.

Насколько резко отличаются эти две группы веществ в почве по способности обменивать содержащийся в них кальций на ионы Na, K и

* *J. Konig, J. Hasenbäumer* und *C. Hessler*. Bestimmung der Kolloide im Ackerbode.— Landw. Vers.— St., 1911, Vd. 75, S. 377.— Реф. в Журн. оп. агр., т. 13, 1912, стр. 225.

** *H. Aschley*. The colloid matter of clay and its measurement.— N. St. Geol. Sur., Bull. 338, 1909; см. заметку *P. Rohland'a*. Ueber eine Bestimmungsmethode der Kolloidstoffe in den Boden.— Landw. Jahrb., 1912, Bd. 42, стр. 329.— Реф. в Журн. оп. агр., т. 13, 1912, стр. 486.

*** *H. Gorski*. Beitrage zur Bestimmung der Kolloide im Ackerboden.— Ztschr. f. Landw. Versuchsw. in Oesterr, 1912, S. 1201.— Реф. в Журн. оп. агр., т. 14, 1913, стр. 101.

Таблица 1

обработке его растворами NaCl, KCl и NH_4Cl различной концентрации *

Обработка											Всего вытеснено из почвы
10-я	11-я	12-я	13-я	14-я	15-я	16-я	17-я	18-я	19-я	20-я	
0,029	0,029	0,026	0,026	0,022	0,015	0,013	0,013	0,011	0,011	0,011	1,244
0,018	0,027	0,027	0,023	0,022	0,015	0,013	0.013	0,012	0,011	0,011	1,161
0,027	0,021	0,019	0,018	0,016	0.014	0,012	0,012	0,010	0,010	0,010	1,188
0,043	0,041	0,040	0,038	0,033	0,032	0,027	0,025	0,020	0,020	0,020	0,989
0,016	0,015	0,014	0,014	0,011	0,011	0,009	0,008	0,008	0,006	0,005	1,301
0,015	0,015	0,015	0,013	0,010	0.010	0,010	0,008	0,008	0,006	0,004	1,309

NH_4, видно из помещенных в табл. 1 данных, полученных нами таким способом. Три навески по 200 *г* суглинистого чернозема (Тульской губ., Ефремовского уезда, имения «Кроткое») взбалтывались в стклянках с 1 *л* растворов: 1,0 н. NaCl, 1,0 н. KCl и 1,0 н. NH_4Cl и оставлялись на сутки, по прошествии которых жидкости успевали вполне просветлеть; тогда из каждой стклянки сливалось по 750 *см*^{3} прозрачного раствора и столько же опять приливалось соответствующего первоначального раствора; стклянки встряхивались и оставлялись на сутки и т. д.; операция эта продолжалась 20 раз; в каждой слитой жидкости определялось содержание извести; в таблице мы даем количество CaO, вытесненной из 100 *г* почвы при каждой последовательной обработке соответствующим раствором, а также общее количество CaO, вытесненное из 100 *г* почвы за все двадцать обработок.

Бывшая в этих опытах почва содержит 1,760% всей извести (разложение почвы фтористоводородной кислотою) и 1,395% CaO, извлекаемой 10%-ной HCl; табл. 1 показывает, что 20-кратной последовательной обработкой этой почвы 1 н. растворами хлористых щелочей вытесняется почти вся известь, извлекаемая из почвы 10%-ной соляной кислотой (из 100 *г* почвы растворами NaCl вытеснено всего 1,244 *г* CaO, растворами KCl — 1,161 *г* и растворами NH_4Cl — 1,188 *г*); далее мы видим, что уже при первой обработке щелочи вытесняют из почвы половину всего того количества извести, какое вытесняется двадцатью последовательными обработками, а первые десять обработок NaCl вытесняют 1,025 *г* CaO, т. е. 82% от количества ее, вытесняемого двадцатью обработками хлористым натром; первые десять обработок KCl — 1,033 *г*, т. е. 88%, и первые десять обработок NH_4Cl — 1,086 *г*, т. е. 91%; следующие десять обработок вытесняют, таким образом, из почвы всего около 0,2 *г* CaO, несмотря на то, что в почве после первых десяти обработок остается еще около 0,7 *г* CaO.

При обработке почвы более слабыми растворами хлористых щелочей процесс вытеснения несколько замедляется, так, как видно из табл. 1, 20-кратной последовательной обработкой исследовавшегося чернозема 0,2 н. раствором хлористого натра вытеснено из 100 *г* почвы 0,987 *г* CaO, т. е. 79% от того количества, которое было вытеснено 1,0 н. раствором хлористого натра; первая обработка 0,2 н. раствором NaCl вытеснила из 100 *г* почвы 0,286 *г*, т. е. меньше чем половину того количества, которое было вытеснено при первой обработке 1,0 н. NaCl.

Наоборот, при обработке почвы более концентрированными растворами солей щелочных металлов вытеснение извести идет сначала значительно энергичнее, нежели при обработке 1,0 н. растворами; табл. 1 показывает, что 4 н. раствор NaCl при первой обработке вытеснил из 100 *г* почвы 0,794 *г* CaO (при обработке 1,0 н. раствором — всего 0,611 *г*), а 4 н. раствор хлористого аммония — 0,823 *г* (1 н. раствор — всего 0,610 *г*); вместе с тем вытеснение всей легко обменивающейся извести при обработке концентрированными растворами солей щелочных металлов ускоряется; так, первыми пятью обработками вытеснено CaO, *г*:

4,0 н. NaCl	1,139	4,0 н. NH_4Cl	1,148
1,0 н. NaCl	0,922	1,0 н. NH_4Cl	0,962

Десятью первыми обработками 4,0 н. раствора хлористого натра и аммония вытеснилось практически столько же CaO, сколько двадцатью обработками 1,0 н. растворами тех же солей:

Обработка	Вытеснено CaO, *г*	Обработка	Вытеснено CaO, *г*
10-ю 4,0 н. NaCl	1,228	10-ю 4,0 н. NH_4Cl	1,236
20-ю 1,0 н. NaCl	1,244	20-ю 1,0 н. NH_4Cl	1,186

Дальнейшими, после десятой, обработками исследовавшейся почвы 4,0 н. растворами хлористого натра и аммония было вытеснено уже очень мало CaO, а последними, 19-й и 20-й, только ничтожные, едва уловимые следы; дальнейшая обработка насыщенными растворами тех же солей, произведенная после 20-й обработки 4,0 н. растворами, давала такие же ничтожные количества извести.

Таким образом, можно считать, что произведенной нами 20-кратной последовательной обработкой почвы 4,0 н. растворами хлористых щелочей мы вытеснили из почвы весь тот кальций, который содержался в этой почве в группе веществ, обладающих сильно выраженной способностью к обмену своих оснований на другие основания; всего из 100 *г* данной почвы мы вытеснили, таким образом, как показывает табл. 1, 1,301 *г* (хлористым натром) и 1,309 *г* (хлористым аммонием), т. е. 94% от содержания CaO в этой почве, извлекаемой 10%-ной HCl *, и 75% от валового ее содержания.

---

* Как мы видим, количество кальция в исследовавшейся почве, входящего в состав соединений почвы, легко обменивающих свои основания, почти точно совпадает

Само собою разумеется, что определение количества веществ, обладающих такой обменной способностью, и определение количественного состава тех оснований, которые входят в эту часть почвы, является чрезвычайно существенным как в чисто практическом отношении, так и для познания генезиса почвы и тех процессов, какие происходят в почве.

В предшествующей главе мы указывали, что и природа этих соединений, обладающих высоковыраженной поглотительной способностью по отношению к основаниям, и характер связи этих соединений с поглощенными основаниями до сих пор еще не выяснены, но что во всяком случае вся совокупность имеющихся, правда лишь косвенных данных, говорит за то, что связь поглощающих соединений почвы с поглощенными основаниями иного характера, чем связь основных и кислотных ионов в определенных химических соединениях. Что же касается природы тех соединений, которые поглощают основания (комплекса гидроокисей кремния, алюминия и, по всей вероятности, железа *), то здесь уже совершенно ничего нам не известно; часто высказываемое теперь различными исследователями предположение, что соединения эти представляют смесь гелей гидроокисей алюминия и кремния **, не имеет пока за собой никаких определенных доказательств, а вместе с тем вызывает возражения.

Ввиду такого положения вопроса о характере поглощающих веществ почвы рациональная номенклатура их в настоящее время еще невозможна; но так как для простоты, ясности и определенности изложения дать этим соединениям названия необходимо, то в последующем изложении мы будем придерживаться следующего обозначения. Почвенные минеральные соединения, обладающие резко выраженной поглощающей способностью, ту, так сказать, основу, с которой связаны основания, будем называть цеолитоподобными соединениями, или просто почвенными цеолитами (конечно, не в смысле минералогическом); для совокупности же этих цеолитоподобных веществ вместе с поглощенными ими основаниями наиболее подходящим будет, по нашему мнению, термин, введенный проф. В. В. Куриловым, «продукты присоединения» ***. Что касается органиче-

---

с количеством этого элемента, извлекаемого 10%-ной горячей солянокислой вытяжкой; но такое совпадение, как мы покажем в следующих статьях, замечается не для всех оснований.

* На основании того, что железо целиком извлекается из почв солянокислой вытяжкой, можно думать, что оно целиком входит в комплекс аморфных коллоидальных силикатов Van Bemmelen'a; в этом комплексе оно может находиться: 1) в виде свободной окиси железа, 2) в виде составной части поглощающих соединений и, наконец, 3) по нашим исследованиям, оно входит туда в виде поглощенного основания, причем по крайней мере часть его находится там в форме двузначного иона Fe.

** См. по этому вопросу:

H. Stremme. Ueber Fällungen der gemengten Gels von Tonerde und Kieselsäure und deren Beziehungen von Allophan, Halloysit und Montmorillonit.— Ct.-Bl.f. Miner. Geol. u Paläont., B. 20, 1908, S. 622 и 661.

R. Gans. Ueber die chemische oder physikalische Natur der kolloidalen wasserhaltigen Tonerdesilikate.— Ct.-Bl. f. Miner. Geol. u Paläont., B. 25, 1913, S. 699 и 728.

*** Термин Van-Bemmelen'a «абсорпционные соединения» ввиду невыясненности истинной природы связи между поглощающими веществами почвы и поглощенными

ских соединений почвы, то в настоящее время, по нашему мнению, лучше всего сохранить старые обозначения, а потому поглощающую часть этих соединений мы будем называть гумусом, а продукты присоединения оснований к этим соединениям — гуматами.

Таким образом, почвы содержат гумус и цеолитоподобные вещества (соединения неизвестной нам еще природы) в соединении с различными основаниями в виде «продуктов присоединения»; характер этого присоединения, поскольку это в настоящее время выясняется, обусловливается коллоидальными свойствами цеолитообразных и гумусовых соединений почвы. Поэтому определение в почве количеств как цеолитоподобных и гумусовых веществ, так и тех оснований, которые с ними связаны, и представляет одну из задач «определения коллоидов» в почве.

Мы, со своей стороны, думаем, что если бы в цеолитной части почвы кремнезем и глинозем содержались в виде простой механической смеси гелей этих веществ, как это предполагает Stremme, то при действии на первоначальную почву (без предварительной обработки ее соляной кислотой) 10%-ного раствора соды мы извлекали бы из почвы бо́льшую или меньшую часть цеолитного кремнезема; на самом же деле, как известно, содовая вытяжка из многих почв, очень богатых цеолитным кремнеземом, без предварительной обработки соляной кислотой почти вовсе не извлекает SiO_2. Можно, конечно, на это возразить, что содовая вытяжка потому не растворяет в этом случае из почвы кремнекислоты, что механическая смесь гелей, связываясь с натрием, переходит при этом в химическое соединение; но тогда придется признать, что рассматриваемое предположение Stremme ничем не обосновано, так как мы вместе с тем должны признать, что те искусственные цеолиты, которые получали и с которыми работали Stremme и Gans, представляют не механическую смесь гелей кремнекислоты и глинозема, как это утверждает Stremme, а согласно Gans'у — определенное химическое соединение, и если строить доказательство о природе связи SiO_2 и Al_2O_3 в почвенных цеолитах по аналогии с таковой в этих искусственных цеолитах, как это делают оба указанные исследователи (что, однако, мы считаем необоснованным), то, значит, прав не Stremme, а Gans.

Другой задачей является определение степени дисперсии содержащихся в почве продуктов присоединения, так сказать, степени их коллоидальности (по степени набухаемости, вязкости и клейкости во влажном состоянии и твердости в сухом состоянии), а вместе с тем и степени коллоидальности самой почвы.

Если мы возьмем за исходный материал суглинистый чернозем (например, чернозем Тульской губернии, с которым мы в настоящем случае оперировали), не содержащий углесолей, то на основании его физических свойств, степени набухаемости, вязкости, клейкости, скорости оседания после взмучивания в воде, водопропускающей способности и, нако-

---

основаниями и ввиду того, что понятие «абсорпция» обычно отождествляется с определенным понятием, «твердый раствор», мы предпочитаем здесь не употреблять.

нец, по малой твердости, легкой распыляемости, какими он обладает после высыхания, мы должны отнести его к почвам, продукты присоединения которых во всяком случае не представляют более или менее ясно выраженных свойств гелей гидрофильных коллоидов, так называемых галлертов, а скорее должны быть отнесены к телам аморфного характера со слабо выраженной коллоидальностью *. Степень коллоидальности почвы можно изменить как в сторону увеличения ее, так и в сторону уменьшения ее и усиления аморфного характера продуктов присоединения почвы.

Первое мы достигали двумя по существу отличными приемами. Первый способ состоит в следующем. Как мы увидим ниже, из оснований, соединенных с гуминовыми и цеолитоподобными веществами почвы в виде продуктов присоединения, железо и кальций являются главными, присутствию которых эти продукты присоединения обязаны своим аморфным свойством; если удалить часть этих оснований, не разрушая самих гуминовых и цеолитоподобных веществ, то мы получим почву, продукты присоединения которой из насыщенных основаниями, в каковом виде они находятся в нормальном черноземе, перейдут в соединения, не вполне насыщенные основаниями.

Обрабатывая почву многократно водой, насыщенной углекислотой (с удалением каждый раз отработавшей воды), мы получили почву, которая по исследованиям оказалась ненасыщенной основаниями: такая почва при соприкосновении с нейтральными растворами хлористого натрия освобождает кислоту, тогда как водная вытяжка из этой почвы нейтральна **. И сам ход выщелачивания чернозема водой, насыщенной углекислотой, показывает, что в результате такого выщелачивания, если оно продолжалось достаточное для этого время, получается тело, продукты присоединения которого относительно поглощающих веществ обеднены основаниями; подробно на этом мы здесь останавливаться не будем, так как этому вопросу думаем посвятить отдельную статью, а в доказательство приведем лишь суммарные данные для SiO_2 и CaO, выщелачиваемых из 100 *г* почвы при 20-кратной последовательной обработке поч-

---

* «Многие авторы,— говорит *H. Bechhold* в книге «Die Kolloide in Biologie und Medizin» (1912, стр. 2),— в настоящее время отождествляют понятия «гель» и «галлерт»; нам же кажется более целесообразным пользоваться выражением гель как общим понятием, для выпавших же гидрофильных коллоидов сохранить слово — галлерт». Для ясности и определенности в дальнейшем изложении мы также будем придерживаться этого разделения: «гелями» будем обозначать выпавшие осадки как гидрофобных, так и гидрофильных коллоидов, в частности же гели гидрофобных коллоидов, например коллоидальных растворов золота, платины, серебра и т. д., выпадающие в безводном или почти безводном состоянии, будем называть «аморфными», а гели гидрофильных коллоидов, выпадающие с бо́льшим и меньшим количеством воды (например, кремнекислота, гидроокиси железа и алюминия, органические коллоиды),— «галлертами».

** Подробнее см. в моих статьях «Еще о почвах, на которых действует фосфорит» (Журн. оп. агр., № 12, 1911, стр. 811) и «Потребность почв Петербургской губ. в удобрениях в условиях вегетационного опыта» — Труды с.-х. Лаборатории, 1914, вып. VIII, стр. 50. (См. также стр. 46 в наст. томе).

вы водой, насыщенной CO_2 (при отношении почвы к воде как 100 : 115), и при такой же обработке почвы обыкновенной дистиллированной водой (при отношении 100 : 150).

Всего 20-кратной обработкой удалено из 100 *г* почвы (в граммах):

	SiO_2	CaO	SiO_2 : CaO
Водой, насыщенной CO_2	0,048	0,114	1 : 3,0
Водой без CO_2	0,149	0,176	1 : 1,2

Таким образом, при выщелачивании почвы водой, насыщенной CO_2, на единицу выщелоченной кремнекислоты уносится из почвы 3,0 единиц CaO, при выщелачивании же водой без углекислоты на единицу кремнекислоты уносится всего лишь 1,2 единиц извести; поэтому в первом случае продукты присоединения почвы становятся относительно кремнекислоты, одной из главных частей поглощающего комплекса почв, более бедными известью; приведенные данные показывают, что при выщелачивании водой, насыщенной углекислотой, почва становится и абсолютно беднее известью, нежели при выщелачивании водой без углекислоты, хотя в приведенных данных количество извести, выщелоченной в присутствии углекислоты, и ниже, чем в отсутствие CO_2: при рассмотрении с этой стороны приведенных данных необходимо принять во внимание, что общее количество воды, которым выщелачивалась почва, в первом случае равнялось всего лишь 650 *см*³ на 100 *г* почвы, в то время как в случае воды без CO_2 оно равнялось 5250 *см*³.

Параллельно с относительным обеднением исследовавшейся почвы известью увеличивалась и степень ее коллоидальности; почва после 20-кратной обработки водой, насыщенной углекислотой, высыхая, становилась настолько плотной и твердой, что с трудом и при сильном лишь давлении разбивалась на куски, тогда как почва, промывавшаяся водой без CO_2, почти так же легко рассыпалась, как и первоначальная почва; повышалась и набухающая способность почвы при выщелачивании ее водой с CO_2 : 100 *г* первоначальной почвы удерживали 76 *г* воды и в состоянии насыщения водой занимали объем в 105 *см*³, а 100 *г* почвы, выщелоченной водой с CO_2, удерживали 73,7 *г* воды и занимали в состоянии насыщения водой объем в 112 *см*³.

Принимая во внимание, что 20-кратной обработкой нашего чернозема водой, насыщенной углекислотой, мы из содержащейся в нем извести (общее количество 1,760, растворимой в 10%-ной соляной кислоте,— 1,395%) удалили всего лишь 0,114 *г* CaO и несмотря на это получили образование уже с ясно выраженным повышением коллоидальности, мы должны заключить, что *почвенные цеолитоподобные и гуминовые вещества в состоянии, ненасыщенном основаниями, представляют гели гидрофильных коллоидов, галлерты* *.

---

* Укажем, что *J. Lemberg* (Ztschr. d. deutsch. geol. Ges., 1876, Bd. 28, S. 318, цит. по *H. Gans*, loc. cit., S. 709), обрабатывая многократно водой, насыщенной CO_2, искусственно приготовленный цеолит состава: 2,67 мол. SiO_2, 1 мол. Al_2O_3, 0,95 мол.

Такой же переход продуктов присоединения исследовавшегося нами чернозема из аморфного состояния в состояние галлерта мы достигли другим путем, а именно вытеснением различных оснований, связанных с гуминовыми и цеолитоподобными веществами, щелочными металлами (натрием, калием и аммонием); как мы видели выше, последовательной 20-кратной обработкой почвы хлористыми солями щелочных металлов из почвы удалялась приблизительно вся та известь, которая растворяется в 10%-ной HCl, кроме того удалялась часть и других оснований (железа, магния, калия — при обработке хлористым натрием и аммонием, и натра — при обработке хлористым калием и аммонием), вместо которых в продукты присоединения становился соответствующий щелочной металл; мы получаем почвы, продукты присоединения которых остаются также насыщенными основаниями, как и в первоначальной почве, но насыщены они если не исключительно, то по крайней мере преимущественно одним из указанных выше щелочных металлов; вместе с постепенным вытеснением щелочным металлом других оснований почвы и обогащением продуктов присоединения ее этим металлом повышается и коллоидальность почвы; особенно сильно она повышается, когда мы насыщаем почву натрием; получающееся в этом случае тело при набухании в полтора раза увеличивает свой объем, в сухом растертом состоянии месяцами не подымает воду снизу и не пропускает ее сверху, в смоченном состоянии представляет сильно вязкую и клейкую массу, которая после высыхания становится чрезвычайно твердой и плотной. Меньшее увеличение степени коллоидальности имеет место при насыщении почвы аммонием и еще меньшее — при насыщении калием.

Таким образом, *если почвенные цеолитоподобные и гуминовые вещества обогащены натрием (а отчасти и калием или аммонием), то получающиеся продукты присоединения также приобретают характер гелей гидрофильных коллоидов, галлертов.*

Не то получается, если первоначальный чернозем обрабатывать многократно и последовательно растворами солей железа или алюминия; ионы железа и алюминия, вытесняя из почвы другие основания* и становясь на место вытесняемых оснований в продукты присоединения почвы, уменьшают ее первоначальную степень коллоидальности и сообщают продуктам присоединения еще более ясно выраженный аморфный характер, характер гелей гидрофобных коллоидов.

($K_2O + Na_2O$), получил аллофаноподобное тело состава: 2,30 мол. SiO_2, 1 мол. Al_2O_3, 0,15 мол. K_2O, т. е. тело, насыщенное основаниями, которое в соприкосновении с растворами нейтральных солей освобождало из них кислоту.

* Оставляя сообщение полных анализов почв, насыщенных искусственно тем или другим элементом, до следующей статьи, мы здесь укажем лишь, что железо и алюминий гораздо энергичнее, нежели щелочные металлы, вытесняют из почвы известь: так, после 20-кратной обработки 0,2 н. раствором $FeCl_3$ в почве осталось CaO: валовой 0,410, растворимой в солянокислой вытяжке 0,082% (в первоначальной почве соответственно 1,760 и 1,395%), после же обработки такой же крепости раствором NaCl — 0,875 и 0,510%.

Щелочноземельные металлы по влиянию их на характер почвенных продуктов присоединения занимают среднее место между щелочными металлами и железом и алюминием; так, кальций, вытесняя из этих продуктов щелочные металлы, превращает их из галлертов в аморфные тела; вытесняя же из продуктов содержащееся в них железо или алюминий, щелочноземельные металлы уменьшают несколько аморфный характер продуктов присоединения; этим объясняется тот факт, что у исследовавшегося нами чернозема после 20-кратной последовательной обработки его 0,2 н. раствором хлористого кальция, вследствие которой содержание в нем CaO, извлекаемой 10%-ной соляной кислотой, повысилось с 1,395 до 1,673%, водоудерживающая способность несколько повысилась (других признаков усиления коллоидальности нам не удалось подметить: по своей рыхлости, например, после высыхания, образование это нисколько не отличалось от первоначальной почвы): хотя известь и вытеснила из почвы немного галлертобразующего иона Na (первоначальная почва содержала Na_2O, растворимого в 10%-ной HCl — 0,063%, а насыщенная кальцием — 0,047%), немного калия и магния, но вместе с тем вытеснила также немного и цеолитного железа.

Таким образом, насколько это нам рисуется по произведенным до сих пор нами далеко не законченным исследованиям образований, получающихся насыщением почвы различными основаниями при различных концентрациях воздействующих на почву солей этих оснований, степень коллоидальности почвенных продуктов присоединения, а следовательно, и самих почв, находится в тесной зависимости от того, насыщены ли эти продукты присоединения основаниями или не насыщены, и если насыщены, то какими именно основаниями: сами цеолитоподобные и гуминовые вещества, не содержащие оснований, представляются, согласно имеющимся у нас до сих пор данным, как гели, сильно удерживающие воду, галлерты, подобные гелям кремнекислоты, окиси железа и другим гелям гидрофильных коллоидов; если вещества эти не вполне насыщены основаниями, то коллоидальность получающихся продуктов присоединения в бо́льшей или меньшей степени сохраняется в зависимости от степени ненасыщенности их основаниями; в значительной степени сохраняется коллоидальность продуктов присоединения и в случае полной насыщенности их основаниями, но только при условии, что насыщающим основанием будет натрий; цеолитоподобные и гуминовые вещества, насыщенные калием или аммонием, уже в значительной степени приближаются к аморфным гелям гидрофобных коллоидов; аморфность их еще более увеличивается, когда насыщающим основанием является щелочноземельный металл и особенно — железо или алюминий.

Возвращаемся теперь к методу поглощения краски почвами для определения количества коллоидальных веществ в почве. Что дает этот метод в отношении двух поставленных нами конкретных вопросов: определения общего количества поглощающих веществ почвы и определения степени коллоидальности почвенных продуктов присоединения? Для исследования этого мы поставили опыт с поглощением метил-виолета и

метил-кристалла: 1) первоначальным черноземом, тем же черноземом, но насыщенным (20-кратной последовательной обработкой 0,2 н. растворами соответствующих хлористых солей), 2) натрием, 3) калием, 4) аммонием, 5) кальцием, 6) алюминием, 7) железом и, наконец, 8) черноземом, выщелоченным 20-кратной последовательной обработкой его водой, насыщенной CO_2.

10 *г* каждой из этих восьми почв в цилиндрах встряхивались со 100 *см*^{3} раствора краски (1 *г/л*), после чего цилиндры были оставлены в темном месте; через сутки в цилиндрах с почвами 1, 5, 6 и 7 твердые частицы все осели; в цилиндрах же с почвами 2, 3, 4 и 8 оседание продолжалось очень долго. Количественного определения поглощенной краски мы не производили; общая картина была и без этого совершенно ясна; полное поглощение всей краски имело место только в опыте с почвой, насыщенной железом; во всех остальных случаях прозрачные жидкости над почвами были более или менее окрашены; в случае почвы, насыщенной алюминием, первоначальной, насыщенной кальцием и выщелоченной водой с CO_2, окраска жидкости была вообще слаба и усиливалась в порядке поименованных почв; в опытах же с остальными почвами: насыщенной калием, насыщенной аммонием и насыщенной натрием, окраска прозрачной жидкости была довольно сильная и усиливалась в порядке поименованных почв.

Таким образом, количество поглощенной краски восемью исследовавшимися нами почвами было неодинаково, между тем эти почвы, за исключением восьмой, как полученные из одной и той же, содержат одно и то же количество цеолитоподобных и гуминовых веществ; в восьмой почве цеолитоподобных веществ было немного меньше, так как часть их была разрушена при воздействии на почву воды, насыщенной CO_2; мы видим, таким образом, что красочный способ определения «количества коллоидов» *дает превратное представление о количестве поглощающих (гуминовых и цеолитоподобных) веществ почвы, что он для решения первого из представленных нами вопросов вообще не пригоден.* Посмотрим, что он даст нам в отношении второго вопроса.

В табл. 2 мы приводим «коллоидальность» наших восьми почв, поскольку она выражается в величине набухания (увеличение объема 100 *см*^{3} воздушно-сухой почвы после полного насыщения ее водою) и в количестве удерживаемой ею воды при полной влагоемкости (на 100 *г* воздушно-сухой почвы) рядом с величиной поглощения краски (метилвиолет и кристалл-виолет поглощались одинаково); шесть крестов означает полное поглощение, пять — почти полное, четыре — более слабое поглощение, три — еще слабее и два — слабое.

Как мы видим, поглощение краски не только не шло параллельно со степенью «коллоидальности» наших почв, но получилось даже обратное отношение: больше всего было поглощено краски почвой, насыщенной железом, т. е. наименее коллоидальной, и меньше всего почвой, насыщенной натрием, т. е. почвой с наибольшею коллоидальностью; таким образом, и для решения вопроса о степени коллоидальности почвы метод

Таблица 2

Почва	Коллоидальность		Поглощение краски
	набухаемость, % от объема возд.-сух. почвы	количество воды, удерживаемое почвой при полной влагоемкости, % от веса возд.-сух. почвы	
Насыщенная Na	47	106	++
Насыщенная NH_4	24	78	+++
Выщелоченная водой с CO_2	20	74	++++
Насыщенная K	19	73	++++
Насыщенная Ca	17	71	+++++
Первоначальная	14	67	+++++
Насыщенная Al	6	63	+++++
Насыщенная Fe	4	54	++++++

поглощения краски в данном случае оказался не пригоден. Непригодность этого метода, по нашему мнению, вполне понятна. По классификации L. Pelet-Jolivet * метил-виолет и кристалл-виолет принадлежат к краскам, дающим полуколлоидальные растворы; поэтому краски действуют как коллоидальные и как истинные растворы; они вытесняют из почвенных продуктов присоединения основания, на место которых становятся катионы краски; так, по нашим исследованиям, при воздействии литра раствора, содержащего 1 *г* краски, из 100 *г* почвы вытесняется (*мг* Ca и Fe соответственно):

	Почва, насыщенная Ca	Почва, насыщенная Fe
Метил-виолетом	71	28
Кристалл-виолетом	31	14

Если мы даже допустим, что связь между основаниями (и в том числе красками) и поглощающими веществами почвы чисто адсорбционного характера, то и в этом случае для почв, продукты присоединения которых отличаются по составу входящих в них оснований, как это имеет место в резкой форме в рассматриваемом нами случае, не может быть параллелизма между величиной поглощения краски и величиной общей поверхности почвы; исследованиями L. Pelet-Jolivet ** установлено, что присутствие электролитов влияет на величину поглощения краски, причем различные электролиты влияют различно; оказывают влияние на поглощение краски и основания, находящиеся в почве в поглощенном

* *L. Pelet-Jolivet.* Die Theorie des Farbeprozesses. Dresden, 1910, S. 33.
** *Loc. cit.*, стр. 114 и далее.

состоянии; так, в опытах R. van der Leeden'a, F. Schneider'a* степень чистоты поглощавшей краску кремнекислоты отражалась на величине поглощения следующим образом: 1 *г* геля чистой кремнекислоты (34,5% SiO_2 и 65,5% воды) поглотил 30 *мг* метилен-синего, тогда как 1 *г* геля нечистой кремнекислоты (с 2,9% примесей: 1,19% Al_2O_3, 0,45% Fe_2O_3, 0,08% CaO, 0,28% MgO, 0,41% щелочей) поглотил 98 *мг* той же краски.

Конечно, и в этом случае различный состав поглощенных оснований в продуктах присоединения (что имело место в наших опытах) должен был оказывать неодинаковое влияние на величину поглощения краски. Но в наших опытах было еще другое обстоятельство, влиявшее на поглощение неодинаково в различных почвах: наши наиболее коллоидальные почвы, а именно почва, насыщенная натрием, насыщенная калием и насыщенная аммонием, содержали значительно более воднорастворимых веществ, нежели остальные исследовавшиеся почвы; часть этих воднорастворимых веществ переходит в раствор в виде электролитов и, значит, влияет на поглощение, как было раньше сказано; часть же этих веществ, и довольно значительная, дает коллоидальный раствор; некоторое количество последних, по-видимому, осаждалось красками, часть же оставалась в растворе и задерживала краску; этим присутствием в растворах почв, насыщенных щелочными металлами, большего, сравнительно с остальными почвами, количества веществ в коллоидальном состоянии, проще всего объясняется относительно слабое осаждение этими почвами красок.

Если мы кроме выше сказанного примем во внимание, что на величину поглощения краски большое влияние оказывает присутствие свободных кислот и щелочей **, то придется прийти к заключению, что метод поглощения красок в отношении определения содержания коллоидов в почвах в лучшем случае может дать не больше того, что дает определение поглотительной способности в отношении основания, не содержащегося в почве (например, в отношении аммония), т. е. может указать приблизительно на количество в почве поглощающих веществ; в том же случае, когда почвы сильно отличаются между собой по реакции, по составу продуктов присоединения, по содержанию коллоидов в почвенном растворе,— метод поглощения краски может дать совершенно превратное представление и о количестве поглощающих веществ, и о степени коллоидальности почвы.

---

* *R. van der Leeden* u. *F. Schneider.* Ueber neuere Methoden der Bodenanalyse under der Bestimmung der Kolloidstoffe im Boden.— Intern. Mitteil. f. Bondekunde, 1912, Bd. II, S. 86.

** *L. Pelet-Jolivet,* loc. cit., стр 93 и далее.

УЛЬТРАМЕХАНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЫ И ЗАВИСИМОСТЬ ЕГО ОТ РОДА КАТИОНА, НАХОДЯЩЕГОСЯ В ПОЧВЕ В ПОГЛОЩЕННОМ СОСТОЯНИИ. ИЗВЕСТКОВАНИЕ КАК МЕРА УЛУЧШЕНИЯ УЛЬТРАМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВЫ [1]

Действие извести на почву не ограничивается уничтожением ненасыщенности почвы основаниями («пассивной» кислотности почвы), нейтрализацией свободных кислот и кислых солей почвенного раствора («активная» кислотность почвы) и влиянием на те явления в области взаимоотношения между растением, почвою и удобрением, которые находятся в тесной зависимости от этих свойств почвы. Кальций, находящийся в почве в поглощенном состоянии и находящийся там в виде углекислого, оказывает очень многообразное действие на химию, физику и биологию почвы. Среди этого многообразия особый интерес приобретает влияние поглощенного кальция на ультрамеханический состав почвы и связанную с ним структурность почвы.

Под ультрамеханическим составом я понимаю механический состав илистой фракции почвы; эта фракция, как известно, заключает почвенные частицы диаметра, меньшего 0,001 *мм*; несколько ниже этой границы, а именно примерно с 0,00025 *мм* (0,25 *мкм,* или 250 *нм*) начинается область частиц коллоидальных размеров; в сущности именно в этой области сосредоточено то, что может быть названо жизнью почвы; в этой части почвы вследствие высокой степени дисперсности ее частиц поверхностная энергия достигает таких величин, что становится возможным проявление реакционной способности между твердой и жидкой фазами почвы, а также и между твердыми фазами почвы в такой уже степени, что эта реакционная способность может влиять на повседневную жизнь почвы и растения и становится уловимой нашими методами исследования и притом за те периоды времени, в течение которых производились и производятся опыты и наблюдения и которые, конечно, совершенно ничтожны сравнительно со временем вековых процессов.

Само собой разумеется, что реакции идут и между грубодисперсными частичками почвы или материнской породы и почвенной влагой, но протекают они чрезвычайно медленно и с очень малой интенсивностью; здесь не жизнь, а прозябание; то, что может быть названо почвенным процессом, то требует существования уже в твердой фазе коллоидально распыленной части. Поэтому понятно все значение изучения ультрамеханического состава почвы для всестороннего познания самой почвы и

---

[1] Воспроизводится по статье, напечатанной в «Журнале опытной агрономии», т. 22, № 1—2, 1924.

свойств различных ее ультрамеханических фракций. Для этого изучения в более или менее широком масштабе необходима разработка методов ультрамеханического анализа, достаточно простых и технически удобных.

Более подробно на этом вопросе мы сейчас останавливаться не будем; когда наши исследования, предпринятые в этом направлении, достигнут состояния, удобного для опубликования, мы это сделаем в специальной статье; теперь же ограничимся изложением лишь тех результатов, которые могут послужить к иллюстрации влияния кальция, находящегося в почве в поглощенном виде (цеолитного и гуматного кальция), на состояние ультрамеханической части почвы. Но для удобства и большей ясности изложения вопрос этот мы поставим в более общей форме: ультрамеханическая часть почвы, вследствие высокой дисперсности ее, обладает физико-химической поглотительной способностью, в силу которой находящиеся в ней в поглощенном состоянии катионы (цеолитные и гуматные катионы) способны обмениваться на любые другие катионы*; как изменяется ультрамеханический состав почвы, в зависимости от того, какие катионы находятся в цеолитной и гуматной части почвы в поглощенном состоянии?

В самой общей форме мы уже дали ответ на этот вопрос в одной из опубликованных нами работ **, а именно мы показали, что степень коллоидальности почвы, измерявшаяся нами степенью набухаемости почвы, сильно изменяется в зависимости от рода катиона, находящегося в поглощающем комплексе почвы: наибольшая она в том случае, когда поглощенным катионом является натрий, наименьшая — в случае железа; для других исследованных катионов она занимает промежуточное место. Само собой разумеется, что различная степень набухаемости является следствием различной степени дисперсности почвенных частиц; поэтому непосредственным выводом из этих данных должен был быть тот, что род поглощенного катиона изменяет ультрамеханический состав почвы. Теперь мы можем привести прямое доказательство этому.

Рассмотрим в отдельности влияние рода поглощенного катиона почвы на дисперсность ее органической и минеральной части. «Растворимость» гумуса естественной почвы находится в непосредственной связи с родом насыщающего ее катиона. Наибольшая она тогда, когда почва содержит поглощенный натрий (солонцеватые почвы), очень ничтожна, когда в почве только поглощенный кальций или кальций с небольшим количеством магния (черноземные почвы); в почвах, ненасыщенных основаниями, т. е. содержащих поглощенный водород (почвы оподзоленные), растворимость гумуса больше, чем в почвах с поглощенным кальцием, и меньше, нежели в почвах с поглощенным натрием. Более подробное

* См. предшествующую статью: «Почвы, ненасыщенные основаниями...» Настоящая кн. Журн. оп. агр., стр. 1.

** *К. Гедройц.* Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. I. Журн. оп. агр., т. 15, 1914, стр. 187. (См. также стр. 50 в наст. томе).

исследование показывает, что в почвах, насыщенных одним из следующих однозначных катионов: литием, натрием, аммонием или калием, поглощающий органический комплекс (гуматная часть почвы) приобретает свойство давать с водой, как дисперсной средой, такую высокую степень дисперсности (близкую уже к молекулярной дисперсности, а может быть, в той или другой части молекулярную дисперсию), что частицы свободно проходят через слой почвы и самую плотную фильтровальную бумагу; воздействием достаточного количества воды можно сравнительно быстро из почв, насыщенных указанными основаниями, выщелочить нацело всю гуматную часть, причем быстрее всего это достигается в том случае, когда в поглощающий комплекс почвы поместить литий, затем натрий, затем аммоний и, наконец, калий*.

В результате выщелачивания таких почв получаются темноокрашенные фильтраты, совершенно не содержащие видимых частиц, без всякой опалесценции, содержащие весь тот органический комплекс, который обладает поглотительной способностью и содержит в качестве поглощенного основания один из указанных щелочных металлов; кроме того фильтраты эти содержат еще очень значительное количество коллоидальной кремнекислоты и коллоидальных гидроокисей железа и алюминия, как результат энергичного воздействия воды на алюмосиликатный поглощающий комплекс почвы, содержащий в качестве поглощенного катиона один из указанных щелочных металлов **.

В одном из наших опытов с суглинистым черноземом, содержащим 10,1% гумуса, всю гуматную часть его удалось выщелочить после насыщения почвы натрием (и удаления всего хлористого натра диализом почвы), промыванием 100 *г* почвы на воронке 16 *л* воды; последовательным взбалтыванием навески почвы в стклянке все с новыми порциями воды, с последующим каждый раз фильтрованием, выщелачивания

---

* В одной из своих работ последнего времени проф. М. Егоров («Условия применения и действия фосфатов на черноземе». «Наука на Украине», стр. 58; цитирую по отдельному оттиску, где года не указано), описывая опыт промывания чернозема 15 раз нормальным раствором KCl, а затем чистой водой, пишет, что при втором промывании водой «*совершенно неожиданно, насколько было известно в литературе* (курс. наш), промывная вода окрасилась в интенсивно темный-темный цвет...» Между тем, явление это мною было отмечено в печати еще в 1912 г. («Коллоидная химия в вопросах почвоведения»,— Журн. оп. агр., т. 13, 1912, стр. 392 и далее); предложив свой способ насыщения почв различными основаниями и в том числе щелочными металлами, я, само собой, не мог не столкнуться с этим явлением, которое и заставило меня вместо промывания почв после обработки их солями щелочных металлов, для удаления этих солей применять диализирование. Это явление отмечалось мною и в последующих моих работах: «Поглотительная способность почвы»...— Журн. оп. агр., т. 17, 1916, стр. 474; «Материалы к познанию поглотительной способности почвы...»,— Журн. оп. агр., т. 19, 1918, стр. 286 и далее, где я подробно останавливаюсь на означенном явлении и пользуюсь им для выщелачивания органического вещества из почвы.

** Отмечу, что богатство фильтратов этими коллоидально распыленными веществами наводит на мысль о тесной связи между гуматной и цеолитной частями почвы; имеются и другие признаки существования в почве такой связи.

можно достигнуть гораздо быстрее и меньшим количеством воды. Определение гумуса (титрованием) в собранных промывных водах показало его содержание в 5,7% от веса почвы. Таким образом, наш образец почвы содержал 5,7%, т. е. больше половины всего гумуса, в виде солеобразных соединений гумусовых кислот; это та часть гумуса, которая обладает в достаточной степени выраженной обменной способностью и которую мы называем гуматной частью почвы.

Как влияет на растворимость гуматной части почвы насыщение ее водородным ионом, нами рассмотрено было раньше *; *поглощенный водород по сравнению с катионами двузначными и трехзначными повышает дисперсность гуматной части почвы, а по сравнению с катионами первой группы — понижает.*

Когда в поглощающем комплексе почвы в поглощенном состоянии находятся магний или кальций, то дисперсность гуматной части в воде, как дисперсионной среде, уже настолько понижена, что частицы органического вещества задерживаются в капиллярах почвы и фильтровальной бумагой; водные фильтраты из таких почв слабо окрашены и содержат сравнительно очень мало органических веществ.

Наконец, когда поглощенным катионом является алюминий или железо, то, как показывает исследование, водные фильтраты из таких почв почти вовсе лишены органического вещества.

Очень сходно с органическим поглощающим комплексом почвы ведет себя и минеральный поглощающий комплекс, «цеолитная часть» почвы. В подтверждение этого мы приведем из наших исследований данные, полученные для горизонта 80—100 *см* деградированного слитого чернозема Кубанской области, состав поглощенных катионов которого приведен нами в одной из ранее опубликованных ** работ (CaO 0,757%, MgO 0,2221%, K_2O 0,032%, Na_2O 0,008% HO%). Этот образец содержит очень мало гумуса (около 1%), обменная же способность его значительна; таким образом, здесь мы имеем дело, главным образом, с минеральным поглощающим комплексом. С этим образцом мы предприняли подробные опыты с целью выяснения зависимости степени коллоидальности почвы от рода поглощенного основания, с определением ультрамеханического состава его при различных поглощенных основаниях. Исследование еще не закончено, но некоторые из полученных результатов очень демонстративны, поэтому я их сообщу здесь.

Опыт А. В мерные цилиндры 200 *см*³ емкостью помещались по 20 *г* почвенного образца; в один из цилиндров была прилита вода до черты 200 *см*³, а в остальные — 1,0 н. раствор хлористого натрия; цилиндр с водою был оставлен в покое (цилиндр I), а в цилиндрах с хлористым натрием последовательным многократным сливанием совершенно просвет-

---

* *К. Гедройц.* Почвы, ненасыщенные основаниями...— Журн. оп. агр., т. 22, № 1, 1924, стр. 1.

** *К. Гедройц.* Поглотительная способность почвы и почвенные цеолитные основания.— Журн. по агр., т. 17, 1916, стр. 515, 516.

левшего раствора и приливанием нового раствора 1,0 н. NaCl почвы были насыщены натрием. После полного насыщения почв натрием было слито из каждого цилиндра по 160 *см*^{3} совершенно прозрачного раствора хлористого натра и в цилиндры прилит такой же объем чистой воды; через сутки из цилиндров было слито по 145 *см*^{3} жидкости и прилито столько же чистой воды; концентрация хлористого натра при этом понизилась всего с 1,0 н. до 0,034 н.

Часть таким образом обработанных цилиндров была оставлена в покое (цилиндры II), а в остальных еще раз был слит просветлевший раствор; всего удалось слить 75 *см*^{3}; вместо него было прилито столько же воды (цилиндры III); больше сливаний сделать не удалось, так как оседания почвы не происходило; концентрация хлористого натра в жидкости этих цилиндров понизилась до 0,02 н. Цилиндры были оставлены в покое.

После окончания всех этих обработок прошло по настоящее время 6 месяцев с лишком; вид цилиндров теперь таков.

Цилиндр I — первоначальная почва и чистая вода. Почва занимает объем 29 *см*^{3}, высота столба почвы — 3,5 *см*; вода над почвою почти совершенно прозрачная, лишь слегка опалесцирует; высота столба воды над почвой — 18,5 *см*.

Цилиндр II — почва, насыщенная натрием, концентрация оставшегося в жидкости NaCl равна 0,034 н. Почва занимает объем 104 *см*^{3}, высота столба почвы — 11,5 *см*; жидкость над почвой (10,5 *см* высотою) совершенно прозрачна.

Цилиндр III — почва, насыщенная натрием, концентрация оставшегося в жидкости NaCl равна 0,02 н. Почва занимает почти весь объем в цилиндре — 185 *см*^{3}, высота столба почвы 21,5 *см*; над почвой слой совершенно прозрачной жидкости всего в 1 *см* высотою; на самом дне цилиндра слой крупнозернистой почвы, толщиною около 2 *мм*; весь остальной столб почвы представляет однообразную массу желеобразной консистенции*.

Содержание одного из цилиндров III было перенесено в больший цилиндр и разведено водою до объема в 600 *см*^{3}. Концентрация NaCl в жидкости этого цилиндра понизилась до 0,0067 н. И в этом цилиндре 20 *г* почвы, насыщенной натрием, по прошествии полугода после постановки опыта продолжают занимать почти весь объем, а именно весь столб почвы плюс вода имеет высоту 35 *см* и из них только верхние 2 *см* приходятся на просветленную воду, вся остальная масса представляет на вид совершенно однородную густую суспензию, подобную той, какая в цилиндрах III, но уже жидкой, не желеобразной консистенции.

Приведенный опыт показывает на громадное повышение степени дис-

---

* И в настоящее время (октябрь 1923 г.), т. е. по прошествии более чем двух с половиной лет, цилиндры эти представляют ту же картину. В цилиндрах III объем, занимаемый почвою, уменьшен лишь на 2—3 *см*^{3}; вся почва в них представляет застывший неподвижный гель с содержанием (по непосредственному определению) 897% воды от веса их почвы.

персности почвенных частиц в почве, насыщенной натрием. Для количественного учета того влияния, которое в этом отношении оказывает на почву замена поглощенных кальция и магния натрием, нами был произведен механический и ультрамеханический анализ того же почвенного образца в его естественном состоянии и в состоянии, насыщенном натрием.

Механический состав естественной почвы и той же почвы после полной замены ее поглощенных катионов (кальция и магния) натрием. Анализ был сделан по методу Вильямса. Брались навески по 50 *г* почвы. Для разделения склеившихся частиц применялось растирание в ступке каучуковым пестиком тестообразной почвенной массы; такое растирание применялось при отделении частиц крупнее 0,01 *мм* и крупнее 0,001 *мм*. Поступали в обоих случаях таким образом. После того как рядом отмучиваний достигалось почти полное просветление жидкости, осадок с частицами крупнее 0,01 (или 0,001) *мм* переносился в фарфоровую ступку, избыток жидкости по прошествии надлежащего времени сливался обратно, а содержимое ступки растиралось каучуковым пестиком в течение 15 мин.; после этого содержимое ступки снова переносилось в стакан (или в стеклянную чашку) и отмучивание возобновлялось до почти полного просветления жидкости через установленный период времени; тогда осадок снова переносился в ступку и т. д.

Отмучивание прекращалось тогда, когда после растирания в ступке не появлялось уже нового количества отмучиваемых частиц. Результаты анализа таковы (содержание сухих фракций в процентах от сухой почвы; содержание ила определялось непосредственно):

Фракции, *мм*	0,25—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001
Кубанский чернозем, гор. 80—100 *см* (поглощенные катионы Ca и Mg)	15,2	26,3	15,8	39,9
То же, насыщенный натрием	13,0	19,2	5,6	59,8

Приведенные данные показывают, что вследствие замещения в почве кальция и магния на натрий к о л и ч е с т в а в с е х ф р а к ц и й к р у п н е е и л и с т о й п о н и з и л и с ь; у фракции 0,25—0,01 *мм* понижение небольшое, возможно, что оно находится в пределах ошибки; количество же фракции 0,01—0,005 *мм* уменьшилось с 26,3 до 19,2%, т. е. на 7 *г* в 100 *г* почвы, или на 27% от количества этой фракции в первоначальном черноземе; еще сильнее понизилось количество фракции 0,005—0,001 *мм*, а именно с 15,8 до 5,6% т. е. на 10,2 *г* в 100 *г* почвы, или на 65% от количества этой фракции в почве, насыщенной кальцием и магнием. За счет этого уменьшения количества частиц крупнее 0,001 *мм* в почве, насыщенной натрием, мы получаем соответствующее у в е л и ч е н и е к о л и ч е с т в а и л и с т ы х ч а с т и ц: замена в почве поглощенных кальция и магния натрием повысила содержание илистой фракции с 39,9 до 59,8%, т. е. на 20,1 *г* в 100 *г*, или на 50% от количества илистых частиц в почве, насыщенной кальцием и магнием.

Таким образом, присутствие натрия в почве в поглощенном состоянии в нашем случае чрезвычайно сильно повысило содержание илистой фракции за счет всех остальных более крупных фракций. Подобные же данные мы имеем и для других, менее глинистых почв; и там наблюдается то же явление, но лишь не так резко выраженное; различие лишь количественное, но не качественное.

Ультрамеханический состав естественной почвы и той же почвы после полной замены ее поглощенных катионов (кальция и магния) натрием. Для исследования механического состава илистой фракции кубанского чернозема (гор. 80—100 *см*) в естественном его состоянии и в состоянии, насыщенном натрием, мы в этом опыте применяли отмучивание в больших стеклянных чашках илистой фракции, собранной полностью из 200 *г* почвы естественной и 200 *г* почвы, насыщенной натрием; отмучивание производилось при высоте столба жидкости в 8 *см*; собирались фракции, не осаждающиеся в течение трех суток, одной, двух и трех недель и наконец фракция, не осаждающаяся в течение трех недель (последняя определялась непосредственно).

Величину частиц полученных ультрамеханических фракций можно приблизительно вычислить на основании формулы Stokes'а, согласно которой скорость падения шарообразных частиц равна

$$V - \frac{2}{9} \frac{D-d}{\alpha} Kr^2,$$

где D — плотность частиц, d — плотность жидкости, α — внутреннее трение, K — сила, под влиянием которой движутся частицы, r — радиус частиц. Для частного случая — падения почвенных частиц в воде — этой зависимости может быть придан следующий простой вид (принимая удельный вес почвенных частиц за 2,65, плотность воды за 1 и внутреннее трение воды за 0,01006):

$$r = \sqrt{\frac{v}{3{,}58 \cdot 10^4}},$$

где r — радиус частицы в *см*, v — скорость падения в *см/сек*.

Формула Stokes'а по исследованиям I. Perrin'а* во всяком случае применима к коллоидальным частицам размером до 0,14 *мкм*, насколько она применима к частицам более высокой дисперсности — вопрос не выяснен.

Результаты определения ультрамеханического состава илистой фракции первоначального кубанского горизонта (слой 80—100 *см*) и его же, насыщенного натрием, приводим в нижеследующей таблице в процентах от сухой почвы и в процентах от общего количества ила в том и другом образце.

---

* *J. Perrin.* Die Brown'sche Bewegung und die wahre Existenz der Moleküle.— Koll. chem. Beih., T. I, 1910, S. 254.

Ультрамеханический состав

	Содержание в почве всей илистой фракции, %	1—3 дни 1—0,54 *мкм*	3—7 дни 0,54—0,40 *мкм*	7—14 дни 0—40—0,28 *мкм*	14—21 дни 0,28—0,22 *мкм*	Не оседающие в течение 21 дня <0,22 *мкм*	Сумма
Почва естественная							
% от веса почвы	39,9	10,6	20,8	4,0	1,2	1,3	37,9
% от веса всего ила	—	26,6	51,9	10,0	3,0	3,3	—
Почва, насыщенная натрием							
% от веса почвы	59,8	2,6	4,3	3,2	1,8	45,3	57,2
% от веса всего ила	--	4,5	7,3	5,6	3,1	79,2	—

Таблица показывает, что вступление натрия в поглощающий почвенный комплекс взамен имевшихся там кальция и магния, не только повысило количество илистых частиц, но вместе с тем коренным образом изменило механический состав самой илистой фракции. Если принять границей между грубыми суспензиями и коллоидальными частицами величину диаметра частицы 0,28 *мкм,* то, как видно из таблицы, в илистой фракции первоначальной почвы содержалось 88,5% частиц, принадлежащих к области грубых суспензий, частиц же колоидальных размеров было всего около 6%; после же замены цеолитных и гуматных кальция и магния натрием процент частиц в илистой фракции коллоидальных размеров возрос до 82,3; абсолютное количество коллоидальных частиц в 100 *г* почвы первоначальной достигло всего лишь 2,5 *г*, в почве же, насыщенной натрием, мы имеем 47 *г*, т. е. в воде в этом случае почти половина всего количества исследовавшейся почвы распыляется до коллоидальных размеров; при этом из этих 47 *г* коллоидальных частиц 45 *г*, или 79% от всего количества илистой фракции почвы, оказывается по своим размерам принадлежащим к наиболее мелкой из выделявшихся нами ультрамеханических фракций; из ниже описываемого опыта мы увидим, что бо́льшая часть илистой фракции исследовавшегося почвенного образца, насыщенного натрием, представляет еще большую степень дисперсности.

Опыт В. В высокий цилиндр с диаметром 11 *см* была помещена навеска в 20 *г* того же образца кубанского чернозема, насыщенного натрием. Навеска эта была предварительно тщательно растерта в течение 15 минут каучуковым пестиком с небольшим количеством воды в фарфоровой ступке; содержимое ступки было перенесено затем в стакан и взмучено с литром воды, а отсюда все содержимое было перенесено уже в означенный цилиндр, в цилиндр было прилито еще воды до высоты 52 *см*; всего поместилось в цилиндр 5,4 *л* воды; содержимое цилиндра было тщательно перемешано, цилиндр закрыт пробкой и оставлен в темном месте в покое на год.

По прошествии этого времени столб жидкости в цилиндре представлял сильно мутную однородную на глаз по всей высоте жидкость; на дне цилиндра имелся осадок почвы. Начиная с верхнего уровня жидкости в цилиндре на стенке цилиндра были отмечены карандашом деления в 10, 20, 30, 40 и 50 *см* и из средины (по высоте) каждого 10-сантиметрового слоя было взято для исследования автоматической пипеткой по 100 *см*^{3} мутной жидкости; сначала проба бралась из средины верхнего 10-сантиметрового слоя, затем из средины следующего, второго 10-сантиметрового слоя и т. д.; приняты были все возможные предосторожности, чтобы как можно меньше взмучивать жидкость при опускании в нее пипетки; наполнение пипетки производилось очень медленно. Взятые порции выпаривались во взвешенных платиновых чашках, просушивались при 105°, а затем прокаливались; таким образом было определено количество почвенных частиц в каждой пробе в сухом состоянии и прокаленном.

Вот результат этого определения. В 100 *см*^{3} жидкости содержалось почвенных частиц в граммах:

	1-я порция	2-я порция	3-я порция	4-я порция	5-я порция	Среднее	Во всем объеме (5,4 *л*)	На 100 *г* сухой почвы
В сухом состоянии (без гигр. воды)	0,1577	0,1597	0,1563	0,1585	0,1590	0,1582	8,51	42,5
В прокаленном состоянии (без органич. веществ и хим. связанной воды)	0,1357	0,1407	0,1405	0,1393	0,1398	0,1392	7,52	37,6

Полученные данные содержания в жидкости оставшихся во взвешенном состоянии через год после взмучивания частиц проверены были еще определением количества почвы, осевшей на дно цилиндра, и количества сухого остатка в мутной жидкости, слитой после взятия означенных порций, для чего было выпарено 4 *л* ее. В приведенной таблице обращает прежде всего внимание то обстоятельство, что содержание твердых частиц во всех пяти слоях жидкости в цилиндре оказалось в пределах точности метода определения совершенно одинаковым; приписать это тому взмучиванию, которое могло происходить в столбе мутной жидкости при взятии из него отдельных порций, само собой разумеется, нет возможности; констатированный факт представляет большой интерес в связи с данными, полученными Perrin'ом при исследовании им послойного распределения частиц в водной суспензии гуммигутовых шариков.

Останавливаться, однако, на этом мы сейчас не будем; нам важно отметить теперь, что из взятых для опыта 20 *г* почвы, насыщенной натрием и взмученной в столбе воды в 50 *см* высотой, во взвешенном состоянии по прошествии года осталось еще 8,5 *г* почвенных частиц,

или 42,5% от веса почвы; согласно формуле Stokes'а эти частицы должны иметь размеры меньше 0,13 *мкм*; принимая во внимание, что некоторая часть таких частиц должна была в течение опыта осесть на дно цилиндра и ускользнуть поэтому от учета, приходим к выводу, что под влиянием распыляющего действия цеолитного и гуматного натрия почти три четверти всех илистых частиц почвы (как органических, так и минеральных, а в данном случае преимущественно минеральных) получили способность давать с водою суспензии очень высокой степени дисперсности.

Органических веществ исследовавшаяся почва содержит очень мало; главная масса неосевших в течение года частичек представляет минеральные комплексы, что и видно из той же таблицы; после прокаливания вес неосевших частиц опускается на 100 *г* почвы всего с 42,5 до 37,6, причем потеря в весе падает главным образом на химически связанную воду, содержание которой в этой фракции очень высокое.

Как мы указывали, для только что описанных исследований над ультрамеханическим составом почвы бралась сильно глинистая почва, и в ней взмучивание в воде давало всего лишь 2,5 *г* частиц, которые по своим размерам могут быть названы коллоидальными; очень интересно здесь отметить, что и это количество частиц получилось в результате очень многих отмучиваний; каждое отмучивание давало лишь очень слабо мутную жидкость; мутность сливающихся жидкостей очень постепенно ослабевала по мере сливаний; если бы руководствоваться при определении конца сливаний полным отсутствием почвенных частиц в последнем сливании, то, по всей вероятности, отмучивание пришлось бы продолжать чрезвычайно долго; в нашем случае предел клался величиной навески почвы, взятой для анализа, и чувствительностью аналитических весов; общая картина процесса отмучивания этой фракции такова, что напрашивается сравнение этого процесса с процессом растворения в воде очень трудно растворимого соединения: и здесь при отмучивании вода каждый раз в состоянии распылить только некоторую, сравнительно очень малую часть более крупных агрегатов до частиц определяемой величины, но количество частиц этой величины в каждом отмучивании в продолжение всей операции отмучивания сохраняется почти на одном и том же уровне.

Таким образом, почва, в ее естественном состоянии не дававшая почти вовсе в воде, как дисперсионной среде, частиц коллоидальных размеров, при замене содержащихся в ней кальция и магния в поглощенном состоянии натрием оказалась в этой среде почти наполовину состоящей из частиц коллоидальных размеров; почва вследствие этого приобрела высокую коллоидальность, громадную водоудерживающую силу, сильную набухаемость, стала водонепропускающей, а в сухом состоянии приобрела громадную связанность благодаря большой клеющей способности ее коллоидальных частиц; водоудерживающая способность ее достигала около 1000% от веса сухой почвы; просыхание при комнатной температуре такой почвы, доведенной до полной влагоемкости, происходит крайне

медленно; просохшая почва впитывает воду также крайне медленно, но впитав ее, камнеобразный комок почвы совершенно расплывается, переходя постепенно через консистенции все убывающей вязкости к совершенно жидкому состоянию.

Подобно этой почве ведут себя и все другие исследованные почвы при замене их цеолитных (и гуматных) кальция и магния на натрий, но такое резкое изменение в степени коллоидальности мы наблюдали только в этом образце почвы. Однако различие это лишь количественное; в качественном же отношении введение в цеолитную и гуматную часть почвы поглощенного натрия всюду вызвало повышение степени коллоидальности почвы, как следствие повышения степени дисперсности ее частиц.

Таково влияние на почву замены ее цеолитных и гуматных кальция и магния на натрий. Для иллюстрации общего вопроса о зависимости ультрамеханического состава минеральной части почвы от рода катиона, содержащегося в поглощенном состоянии в цеолитной части почвы, приведу следующий опыт, поставленный с тем же горизонтом кубанского слитого чернозема.

Опыт C. В цилиндры в 100 *см*^{3} емкости, имеющие черту, отвечающую этому объему, у всех на одной и той же высоте, помещались навески указанной почвы по 20 *г* каждая. В цилиндре 1 почва обрабатывалась многократно декантацией 1,0 н. раствором хлористого натра; в цилиндре 2—1,0 н. раствором хлористого аммония; в цилиндре 3—1,0 н. раствором хлористого калия; в цилиндре 4—1,0 н. раствором хлористого магния; в цилиндре 5—1,0 н. раствором хлористого кальция, в цилиндре 6—1,0 н. раствором хлористого бария; в цилиндре 7—1,0 н. раствором хлористого алюминия; в цилиндре 8—1,0 н. раствором хлорного железа; в цилиндре 9—0,05 н. раствором соляной кислоты; в цилиндре 10 почва оставалась в неизменном состоянии.

Когда обработка почвы в цилиндрах растворами хлоридов была закончена (полное вытеснение кальция и магния), в цилиндры вместо слитых растворов хлоридов приливалась чистая вода и почвы таким образом промывались декантацией для удаления хлоридов; в цилиндрах 4, 5, 6, 7, 8 и 9 таким промыванием удалось удалить полностью хлориды; в цилиндрах же 1, 2 и 3 этого сделать нельзя было, так как по достижении известных, небольших концентраций хлоридов, почвы перестали оседать; таким образом, в почве, насыщенной натрием, когда объем в цилиндре воды+почвы был 100 *см*^{3}, оставался еще хлористый натр в концентрации около 0,02 н., а в цилиндрах с почвами, насыщенными аммонием и калием, хлористый аммоний и хлористый калий оставались еще в концентрации около 0,015 н.

В результате такой обработки получилось: в цилиндре 1 почва, содержащая в своей цеолитной части только поглощенный натрий, в цилиндре 2 — только поглощенный аммоний, в цилиндре 3 — только поглощенный калий, в цилиндре 4 — магний, в цилиндре 5 — кальций, в цилиндре 6 — барий, в цилиндре 7 — алюминий, в цилиндре 8 — же-

лезо, в цилиндре 9 — водородный ион, в цилиндре 10 почва осталась в неизменном первоначальном состоянии.

Для того чтобы проследить зависимость ультрамеханического состава исследовавшейся почвы от рода поглощенного основания в ее цеолитной части, содержимое во всех цилиндрах, наполненных до метки в 100 $см^3$ водою, было одновременно тщательно взболтано, и цилиндры оставлены в покое.

По прошествии семи месяцев состояние цилиндров было следующее: в цилиндрах 4, 5, 6, 7, 8 и 10 почва осела полностью, вода над почвою вовсе не содержала почвенных частиц; в остальных цилиндрах жидкость была более или менее мутной; в цилиндре 1, с почвой, насыщенной натрием, вся жидкость сверху донизу имела однородный вид сплошной мути очень вязкой консистенции; в цилиндрах 2, 3 и 9 имелась ясная граница между осевшей на дно почвой и стоящей над нею мутной жидкостью.

Из каждого из этих четырех цилиндров пипеткой, погруженной до средины высоты содержимого цилиндра, было взято по 10 $см^3$ мутной жидкости и определено выпариванием и просушиванием содержание в этом объеме почвенных частиц. Найдено, в граммах:

Цилиндр	
1 (цеолитный натрий)	1,862
2 (» аммоний)	0,140
3 (» калий)	0,040
9 (» водород)	0,016

Частицы почвы, оставшиеся в этих четырех цилиндрах по прошествии семи месяцев, в суспендированном в воде состоянии представляют, очевидно, частицы очень высокой степени дисперсности: если теперь принять во внимание, что в 100 $см^3$ жидкости каждого цилиндра было 20 *г* почвы, так что при равномерном распределении этой почвы во всей жидкости в 10 $см^3$ ее содержалось бы 2 *г* почвы, то увидим, что в почве цилиндра 1, т. е. в почве, в которой естественно содержащиеся в ней поглощенные катионы нацело замещены натрием, около 90% ее частиц под влиянием этого замещения как будто перешли в состояние высококоллоидальной раздробленности, т. е. почва как бы почти целиком приняла коллоидальное состояние. Говорю — как будто, потому что, как показывает вышеприведенный механический анализ, в исследовавшейся почве, насыщенной натрием, илистой фракции содержалось не 90%, а всего около 50%; в рассматриваемом здесь случае и более крупные частицы, нежели илистые, не могли осесть на дно при высоте жидкости в 10 *см* даже в течение семи месяцев только потому, что, как мы указывали выше, все содержимое цилиндра с почвой (18,8 *г* сухой почвы и 92 $см^3$), насыщенной натрием, представляло желеобразную, очень вязкую, почти неподвижную массу, в которой большинство частиц, даже значительно более крупных, нежели 0,001 *мм*, не могли двигаться.

В остальных трех цилиндрах (2-й, 3-й и 9-й) количество частиц этой высокой степени дисперсности гораздо меньше: больше всего при цеолитном аммонии (около 7%), меньше при цеолитном калии (около 2%) и еще меньше при содержании в почве цеолитного водорода (около 0,8%); но во всяком случае вхождение этих катионов в поглощающий почвенный комплекс, в противоположность всем остальным исследованным катионам (магний, кальций, барий, алюминий и железо), повлияло на ультрамеханический состав почвы таким образом, что почва в воде, как дисперсионной среде, стала давать частицы высококоллоидальной распыленности, каковых первоначальная почва с цеолитными кальцием и магнием вовсе не давала.

Опыт с означенными десятью цилиндрами был продолжен дальше. После взятия проб жидкости, оставшейся в покое в течение семи месяцев, содержимое цилиндров, после прибавления в каждый из них по 10 *см*³ дистиллированной воды, было тщательно взболтано, и цилиндры оставлены в покое на 24 часа, по прошествии которых было взято, как и раньше, из средней (по высоте) части жидкости цилиндров по 10 *см*³ для определения количества взвешенных почвенных частиц. Пробы пришлось взять только из цилиндров 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 и 10; в цилиндрах 7 и 8 (почвы, насыщенные алюминием и железом) жидкость над почвою вполне просветлела раньше суток. Определение количества частиц в 10 *см*³ жидкости остальных цилиндров дало такие результаты * (в граммах):

Цилиндр	
1 (цеолитный натрий)	1,980
2 (» аммоний)	0,716
3 (» калий)	0,319
4 (» магний)	0,365
5 (» кальций)	0,195
6 (» барий)	0,011
9 (» водород)	0,232
10 (первоначальная почва, цеолитные кальций и магний)	0,190

Высота жидкости в цилиндрах была около 10 *см*, таким образом, частицы, оставшиеся в жидкости после 24 часов стояния, имели диаметр меньше 0,001 *мм*.

Приведенные данные показывают, что если за исходный пункт принять почву в естественном ее состоянии, т. е. содержащую, как показал анализ, 0,757% цеолитного CaO и 0,221% цеолитного MgO, то замена ее цеолитных катионов на другие отразилась на количестве илистых частиц

* Цифры для цилиндров 1, 2 и 3 приводятся с поправкой на взятое из них количество частичек после семимесячного стояния (в граммах).

первого суточного сливания так: замена цеолитного магния кальцием вовсе не оказала влияния; полная замена их алюминием или железом *совершенно уничтожила всю илистую фракцию почвы* *; замена их барием *понизила весьма значительно* количество этой фракции, уменьшив его примерно раз в 15; замена одним из остальных исследованных катионов не понижала, а наоборот, повышала степень дисперсности почвенных частиц по сравнению с той, какая была у них в естественном состоянии почвы; особенно сильно увеличилась степень дисперсии почвы от замены ее естественных цеолитных оснований на натрий; если мы вспомним, что при равномерном распределении всей навески почвы в жидкости цилиндра 10 *см*³ этой жидкости должны содержать 2 *г* почвы, то увидим, что *замена цеолитных оснований нашей почвы на натрий как будто вызвала распыление* (см. объяснение этого при изложении результатов семимесячного отстаивания) в воде почти всех ее частичек до размеров илистой фракции (в 10 *см*³ этой фракции найдено 1,98 *г*); между тем как первоначальная почва в 10 *см*³ жидкости, взятых посредине столба жидкости, содержала всего 0,19 *г* этой фракции.

Второе место по способности распылять почву занимает аммоний; он действовал в этом отношении хотя и значительно слабее натрия, но во всяком случае очень сильно; еще слабее и почти одинаково между собою действовали калий и магний; однако и их действие должно быть признано очень сильным, так как они, в качестве цеолитных катионов, повысили количество илистых частиц в полтора с лишком раза. Наконец, на последнем месте по способности повышать количество илистой фракции стоит водородный ион.

Из имеющихся у нас данных описываемого здесь опыта приведу еще цифры, показывающие содержание в жидкости (10 *см*³) тех же цилиндров почвенных частиц после семидневного стояния цилиндров в спокойном состоянии. Пробы были взяты на той же высоте, 10 *см*³ жидкости содержали почву (в граммах):

Цилиндры	
1 (цеолитный натрий)	1,921
2 (» аммоний)	0,446
3 (» калий)	0,176
4 (» магний)	0,025
5 (» кальций)	0,014
6 (» барий)	0,001
9 (» водород)	0,092
10 (первоначальная почва)	0,020

* Мы указывали уже (см. «Поглотительная способность почвы и почвенные цеолитные основания»,— Журн. оп. агр., т. 17, 1916), что при обработке почвы концентрированными растворами хлоридов железа и алюминия очень трудно избежать загрязнения почвы гидратами окисей этих металлов; очень возможно, что этим обстоятельством и вызывалось (по крайней мере отчасти) свертывание илистых частиц.

В общем, как видно из таблицы, влияние рода катиона, находящегося в почве в поглощенном состоянии, на количество почвенных частиц, оседающих в течение семи дней, то же, что и на количество их, не оседающих в течение суток; если исходить от первоначальной почвы, то натрий, аммоний, калий, водорóд и магний повышают это количество, остальные катионы понижают; но вместе с тем видны очень интересные различия в деталях. Так, например, если опять-таки за исходную точку принять первоначальную почву с 0,76% цеолитного кальция и 0,22% цеолитного магния, то оказывается, что магний в качестве единственного цеолитного основания сильно повышал общее количество всей илистой фракции (в наших единицах первоначальная почва дала 0,19 *г* этой фракции, а насыщенная магнием — 0,36 *г*), но на ультрамеханическую часть этой фракции действие цеолитного магния было уже заметно слабее: в первоначальной почве таких частиц найдено 0,020 *г*, а в почве, насыщенной магнием, их количество возросло всего лишь до 0,025 *г*.

Обратное мы видим для поглощенного водорода: под влиянием его общее количество всей илистой фракции возросло лишь с 0,19 (первоначальная почва) до 0,23 *г* (почва, насыщенная водородным ионом), а количество частиц, не оседающих в течение семи дней, уже с 0,020 до 0,092; общее содержание илистой фракции водородный ион повышал заметно слабее цеолитного магния (0,23 и 0,36 *г*), количество же фракций, не оседающих в течение семи дней, он повышал заметно сильнее (0,092 и 0,025 *г*); то же и в отношении еще более мелкой фракции, не оседающей в течение семи месяцев: такой фракции ни в первоначальной почве, ни в почве, насыщенной магнием, не было обнаружено вовсе, а в почве, насыщенной водородом, ее оказалось 0,016 *г*, т. е. даже несколько больше, чем было найдено в почве, насыщенной кальцием, фракции, не оседающей в течение семи дней.

Мы привели здесь опыты по влиянию рода поглощенного в почве катиона на ультрамеханический состав одной только почвы, в которой это явление выражено особенно сильно, но совершенно аналогичное получалось у нас и со всеми другими исследовавшимися почвами; разница замечалась лишь количественная, но не качественная. Подведу теперь итоги этим опытам.

В одной из ранее опубликованных работ * я показал, что в почвенных водных вытяжках, при условии их полной прозрачности, содержание коллоидально распыленных минеральных и органических частиц крайне ничтожно; исключение представляют почвы солонцеватые, водные вытяжки которых даже при полной их прозрачности относительно богаты органическими коллоидами и коллоидально распыленными гидратами окисей кремния, алюминия и железа. Теперь я могу расширить это положение. Если ограничить вопрос почвами, насыщенными основаниями (оставив в стороне почвы, содержащие поглощенный водород),

* *К. К. Гедройц.* Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. I.— Журн. оп. агр., т. 13, 1912, стр. 336. (См. также стр. 50 в наст. томе).

и притом только такими, в которых насыщающими катионами являются кальций (преобладающий) и магний, то оказывается, что такие почвы не только в водных вытяжках дают лишь следы коллоидально раздробленных веществ, но и вообще они с водою, как дисперсионною средою, дают системы сравнительно грубо дисперсные; даже самые глинистые разности таких почв при применении любых из существующих способов предварительной подготовки почвы к механическому анализу (кипячение, растирание кашицеобразной почвы каучуковым пестиком или пальцем и т. д.) в илистой своей части при отмучивании в воде почти вовсе не содержат частиц коллоидальных размеров (около 0,25 *мкм* и ниже).

Если теперь в таких почвах с илистой фракцией, почти не дающей в воде коллоидального размера частиц, вытеснить из цеолитной (и гуматной) части весь магний, заменив его кальцием, превратив таким образом эти почвы в почвы, насыщенные кальцием, или если заменить и поглощенный кальций и поглощенный магний целиком двузначными катионами с бóльшим атомным весом, нежели у кальция (например Ba), или трехзначными катионами (например Al и Fe), то дисперсность илистой фракции понижается еще больше, причем, как показывает исследование, степень понижения дисперсности находится в прямой зависимости от значности катиона и величины его атомного веса.

Обратное действие на ультрамеханический состав почвы оказывает замена ее цеолитного и гуматного кальция двузначным более легким катионом магния или однозначными катионами калия, аммония, натрия, лития и водорода; замена поглощенных катионов естественной почвы одним из вышеназванных повышает дисперсность илистой фракции; и здесь опять-таки замечается та же зависимость степени повышения дисперсности от значности и атомного веса катиона; исключение представляет аммоний, повышающий дисперсность заметно меньше, чем натрий и водородный ион, по этому действию приближающийся всего лишь к магнию; опыты с литием, как поглощенным почвой катионом, у нас еще не закончены, но как будто бы влияние его сильнее влияния натрия; во всяком случае, вопрос о нем остается пока еще открытым, и, таким образом, приходится пока считать, что сильнее всего на повышение дисперсности илистой фракции почвы влияет замена ее поглощенных катионов катионом натрия.

Таким образом, очевидно, в почвах, насыщенных основаниями и именно кальцием (преобладает) и магнием, бóльшая или меньшая часть частичек илистой фракции представляет собой агрегаты более мелких частичек (вторичные частички), неспособные в водной среде распыляться; в том случае, когда в почву вместо кальция и магния вступают в поглощенном состоянии двузначные катионы большего атомного веса, чем магний и кальций, или катионы трехзначные, в илистой фракции почвы образуются еще более крупные агрегаты; наоборот, если поглощенными катионами в почве будут не кальций+магний, а какой-нибудь из более легких двузначных металлов, или же однозначные катионы атомного

веса не выше, чем у калия (однозначные катионы более высоких атомных весов мною не исследовались, небольшие опыты с катионом серебра дают основание предполагать, что замена им естественных поглощенных катионов почвы — кальция и магния, во всяком случае, не повышает дисперсность илистой фракции), то агрегаты илистой фракции приобретают способность распыляться в воде, распадаться и давать в большем или меньшем количестве частицы коллоидальных размеров. Наиболее резкой способностью создавать условия, благоприятные для распыления в воде этих агрегатов илистой фракции, как мы указывали, из исследованных катионов обладает натрий (а может быть, литий); когда он является поглощенным в почве катионом, то почва приобретает резко коллоидальный характер вследствие сильного распыления агрегатов илистой фракции; исследование показывает, что не вся илистая фракция при полной замене почвенных цеолитных и гуматных оснований на натрий распыляется до коллоидальных размеров; часть ее частиц остается, несомненно, в прежнем своем виде; представляют ли эти не изменяющие свои размеры частицы уже отдельные зерна (первичные частички), а не агрегаты, или же являются и они агрегатами, которые и при натрии, как поглощенном катионе, неспособны к дальнейшему распылению в воде (например, вследствие малого количества поглощенных оснований в этих агрегатах), и можно ли заставить их распылиться другим каким-либо поглощенным катионом,— вопросы эти требуют для разрешения дальнейших исследований; вообще нужно заметить, что в рассматриваемой области напрашивается на разрешение целый ряд вопросов, имеющих громадное значение в познании почв и почвенных процессов.

Совершенно открытым остается также вопрос о том, представляют ли те коллоидальные частички, которые получаются в результате распыляющего действия воды на поглощающий почвенный комплекс, насыщенный натрием, первичные коллоидальные частички (ультрамикроскопические кристаллики), или же они являются еще лишь агрегатами таковых, неспособными к дальнейшему распылению водою даже при насыщенности их натрием.

Остановимся на ближайших причинах указанного влияния рода поглощенного катиона на ультрамеханический состав почвы. В одной из ранее опубликованных работ * я показал, что даже минеральные почвенные частицы коллоидальных размеров по характеру процесса свертывания электролитами должны быть отнесены к группе устойчивых коллоидов коллоидальной химии, хотя по своей чувствительности к свертывающему действию электролитов они, несомненно, принадлежат к группе неустойчивых коллоидов; я показал именно, что процесс осаждения соляной кислотой и хлоридами кальция и бария представляет процесс полунеобратимый, хлорным железом — процесс необратимый, а хлористым натрием — вполне обратимый.

---

* *К. Гедройц.* Действие электролитов на илистые суспензии.— Сообщ. XXIV, 1915, изд. Бюро по земледелию и почвоведению, Уч. ком.земл., стр. 60.

Там же я установил зависимость осаждающего действия электролитов от значности и атомного веса их катионов; зависимость эта совершенно та же, что и зависимость ультрамеханического состава почвы (или способность илистой фракции распылять свои агрегаты в воде) от рода катиона, находящегося в почве в поглощенном состоянии.

По всей видимости, и причина этих явлений одна и та же и, по всей вероятности, следующая. Катион в поглощенном состоянии находится в поверхностном слое почвенной частицы и в слое воды, непосредственно примыкающем к почвенной частице, всегда в большем или меньшем количестве будет присутствовать этот катион в результате обменной реакции его на водородный ион воды; вместе с ним в растворе будет эквивалентное количество гидроксильного иона; катион, находящийся в растворе, будет оказывать на почвенные коллоидальные частицы свертывающее действие, гидроксильный же ион, обратно, будет препятствовать этому свертывающему действию, будет стремиться к поддержанию коллоидальных частиц в распыленном состоянии; результат будет зависеть, очевидно, от сравнительной величины того и другого влияния; катионы двузначные, начиная с кальция и более высокого, нежели кальций, атомного веса, и катионы трехзначные обладают большей свертывающей силой, нежели противоположно действующий гидроксильный ион, и потому вступление их в поглощающий почвенный комплекс понижает дисперсность илистой фракции, способствует образованию агрегатов и тем сильнее, чем выше свертывающая сила катионов; обратно, катионы двузначные, более низкого атомного веса, нежели кальций, и однозначные катионы, начиная с калия и ниже по атомному весу, обладают меньшей свертывающей силой, нежели противодействующий гидроксильный ион, почему присутствие их в поглощающем комплексе повышает дисперсность илистой фракции, препятствует образованию прочных в воде агрегатов. Очевидно, такое влияние этих поглощенных катионов будет тем сильнее, чем слабее их свертывающее действие, т. е. в этом отношении эти катионы должны расположиться как раз в том порядке, какой на самом деле и наблюдается: наибольшей способностью повышать дисперсность илистой фракции должен обладать натрий, наименьшей магний и водородный ион, а катионы аммония и калия должны занимать промежуточное положение.

Так можно трактовать факт изменения механического и ультрамеханического состава почвы в зависимости от рода катиона, находящегося в почве в поглощенном состоянии; но к объяснению его можно подойти и другим путем. В статье «Почвы, ненасыщенные основаниями ...» * мы привели те соображения, которые говорят за то, что прочность связи в алюмосиликатном ядре между кремнеземом и глиноземом (и окисью железа) находится в зависимости от рода катиона, насыщающего алюмосиликатный поглощающий комплекс; сопоставляя приведенные там данные с результатами, изложенными в настоящей статье, мы констатируем

---

* См. эту же книгу «Журнала опытной агрономии», стр. 1.

известный параллелизм между влиянием поглощенного катиона на степень разлагаемости алюмосиликатного ядра и на степень распыленности алюмосиликатного поглощающего комплекса; катион, вызывающий наибольшую неустойчивость алюмосиликатного ядра, вместе с тем вызывает и наибольшую степень распыленности почвы и т. д.; и вот, может быть, дело тут как раз в распаде алюмосиликатного ядра на отдельные коллоидальные гидроокиси кремния, алюминия и железа; может быть, например, натрий, как поглощенный катион, вызывает сильное распыление почвенных частиц не тем, что разбивает агрегаты алюмосиликатных частиц на отдельные алюмосиликатные же частицы, а именно тем, что благодаря его присутствию в почве, под влиянием действия воды получается много коллоидальной кремнекислоты и коллоидальных гидроокисей алюминия и железа; возможно и третье предположение, а именно, что имеет место и то и другое.

Перехожу теперь к практическим выводам из изложенного. В природе существуют не только такие почвы, о которых мы выше говорили, т. е. насыщенные основаниями, а именно кальцием (преобладает) совместно с магнием.

Во-первых, как установлено моими исследованиями, в природе существуют почвы, тоже насыщенные основаниями, но в числе этих оснований кроме кальция и магния содержащие также в том или другом количестве поглощенный натрий; это почвы, засоленные натриевыми солями и образовавшиеся из них вследствие рассоления,—в большей или меньшей степени солонцеватые почвы; те и другие спорадически встречаются в нашей черноземной зоне и широко распространены в зоне пустынно-степной. В почвах засоленных присутствие в поглощающем комплексе катиона натрия не может привести к повышению степени дисперсности, к распылению агрегатов илистой фракции в воде, так как этому противодействует высокая концентрация натриевых солей почвенного раствора.

В почвах же солонцеватых влияние содержащегося в цеолитной и гуматной их части натрия в поглощенном состоянии вызывает повышение степени дисперсности илистой фракции, распад ее агрегатов в воде на частицы коллоидальных размеров; это имеет место в тем большей степени, чем выше содержание в такой почве цеолитной и гуматной части, чем больше коэффициент насыщения этой части именно катионом натрия и чем полнее рассолилась почва.

Во-вторых, как показывает имеющийся уже в нашем распоряжении цифровой материал, в природе широко распространена другая группа почв, почв не насыщенных основаниями, или иначе почв, цеолитная и гуматная часть которых в той или другой мере содержит в поглощенном состоянии водородный ион; эти почвы у нас являются преобладающими в полосах деградированного и северного чернозема, но ненасыщенность их, по-видимому, сравнительно очень мала; кроме того, к этой группе почв относятся все подзолистые почвы как дерново-подзолистой зоны, так и вторичные подзолы других зон, а также, по всей вероят-

ности, почвы тундровой зоны; сюда же нужно причислить и красноземы Кавказа. И в этой группе почв, благодаря присутствию в них водородного иона в поглощенном состоянии, илистая фракция приобретает способность распыляться под влиянием действия воды до более высокой степени дисперсности, нежели в почвах, цеолитная и гуматная часть которых вполне насыщена только кальцием плюс магний; и в этих почвах имеются в присутствии воды частицы органического и минерального вещества коллоидальных размеров; свойство это у подобных почв тем резче выражено, чем больше степень их ненасыщенности, или, иначе говоря, чем выше содержание в них поглощенного водорода.

Присутствие в почвах в более или менее заметных количествах коллоидально раздробленных частиц, несомненно, сообщает почвам неблагоприятные для культуры растений физические свойства. Частицы таких размеров обладают при высыхании сильной клеющей способностью; они цементируют остальную часть почвы и вследствие этого почва в сухом состоянии при значительном содержании таких частиц дает крупные структурные отдельности, очень прочные в сухом состоянии, трудно поддающиеся действию орудий обработки почвы; наоборот, во влажном состоянии структурность таких почв исчезает; высохший цемент, представляя собою обратимое в воде, как дисперсионной среде, образование, во влажном состоянии снова распыляется до частиц коллоидальных размеров; поэтому такие почвы заплывают, плохо пропускают и очень медленно поднимают воду, плохо проветриваются, а при высыхании дают сначала корку, которая в дальнейшем растрескивается и постепенно распыляется. В почвах же, насыщенных кальцием плюс магний, коллоидальные частицы собраны в более крупные и вместе с тем в отношении воды очень прочные агрегаты; клеющая способность таких агрегатов значительно меньшая, поэтому почвы этой группы в сухом состоянии дают мелкозернистую, крупитчатую, мелкокомковатую структуру (в зависимости от того или другого механического состава), причем очень прочную и во влажном состоянии, вследствие тех же причин, по которым прочны в отношении воды сами агрегаты частиц илистой фракции; подобная структура сообщает почве очень благоприятные свойства как в отношении водного режима, так и в отношении проветриваемости.

Я не буду здесь подробнее останавливаться на явлении структурности почв. Отмечу лишь следующее. Структурность почвы есть функция ее механического и ультрамеханического состава и потому в первую очередь обусловливается (говорю о тех почвенных горизонтах, где нет заметного скопления полуторных окислов) составом в почвенном поглощающем комплексе катионов, способных к обменным реакциям; во вторую очередь здесь будут играть роль соотношения в почве между количеством поглощающего комплекса и остальной частью, между минеральной частью поглощающего комплекса и органической его частью, между количествами минеральных и органических веществ, не входящих в поглощающий комплекс почвы, а также механический состав тех и других веществ.

Исходя из вышеизложенного, возможно объяснить известные виды структурности почвы и степени их прочности; делать этого я сейчас не буду ввиду слишком небольшого фактического материала, собранного мною для подтверждения этой теории структурности.

Таким образом, присутствие в солонцеватых почвах поглощенного натрия, а в почвах подзолистых (а также в деградированном и северном черноземе) поглощенного водородного иона является причиною менее благоприятного для сельскохозяйственной культуры ультрамеханического состава почвы и обусловливаемой им менее благоприятной структуры, нежели таковые в почвах, содержащих только поглощенный кальций с некоторым количеством магния.

Очень интересен вопрос о значении тех количеств поглощенного магния, какие имеются в черноземах, обладающих лучшими физическими свойствами, или более общий вопрос, как отражается на культуре сельскохозяйственных растений дальнейшее понижение дисперсности илистой фракции естественных почв с хорошими уже физическими свойствами, вызываемое замещением кальцием того поглощенного магния, который в них содержится, и замещением их поглощенного кальция и магния железом или алюминием. Улучшает ли такая замена почву или же ухудшает? Во всяком случае, замена кальцием натрия, находящегося в почве в поглощенном состоянии, и водородного иона, находящегося в почве в таком же состоянии, несомненно, улучшает почву, и такое улучшение может быть достигнуто известкованием.

В почвах подзолистой зоны известкованием достигаются, таким образом, две цели: с одной стороны, уничтожается возможность образования свободных кислот в почвенном растворе, как результата обменной реакции поглощенного водородного иона этих почв с катионами солей почвенного раствора и непосредственного вредного действия поглощенного водородного иона почвы на корневую систему растений (отнятие оснований из поверхностных клеток корней); с другой стороны, той же заменой поглощенного водородного иона на кальций вносимой в почву извести улучшаются физические свойства почвы. Очевидно, методы определения количества потребной для этого извести в обоих случаях будут одни и те же.

В почвах солонцеватых известкование, удаляя поглощенный натрий и заменяя его кальцием, должно улучшить физические свойства и тем в большей степени, чем полнее произведена эта замена; теоретическое количество извести, необходимое для полной замены поглощенного натрия кальцием, может быть вычислено на основании определения в почве содержащегося в ней цеолитного и гуматного натрия (вытеснение аммонийным или водородным ионом); нужно при этом иметь в виду, что для полного замещения натрия необходимо удаление из почвы продукта замещения — углекислого натра.

Наконец, из всего вышеизложенного и из данных относительно действия воды на почвы, ненасыщенные основаниями, приведенных мною в статье «Почвы, ненасыщенные основаниями ...», должно быть ясно, что

известкование почв солонцеватых (т. е. почв, содержащих поглощенный натрий, почв сухих областей) и почв, ненасыщенных основаниями (т. е. почв, содержащих поглощенный водородный ион, почв влажных областей), предохраняет эти почвы от разрушения и выноса из них наиболее ценной в сельскохозяйственном отношении их части, а именно, поглощающего их комплекса, как минерального, так и органического.

Таким образом, если известная поговорка, что «известь обогащает отцов и разоряет детей» имеет смысл еще в отношении понижения плодородия почвы при получении от известкования высоких урожаев в отсутствие правильного севооборота и рационального удобрения, то в рассматриваемом здесь отношении она вполне несправедлива: сельский хозяин, известкуя (или гипсуя при солонцеватых почвах) почву и заменяя этим поглощенный натрий и поглощенный водородный ион почвы кальцием, сохраняет для своих потомков сельскохозяйственную ценность почвы.

С указанной только что точки зрения умеренное известкование должно быть полезно и на тех почвах, которые, естественно, вовсе не содержат ни поглощенного натрия, ни поглощенного водородного иона, но которые усиленно удобряются натриевой селитрой (или калийными солями); такое удобрение, являясь причиной появления в поглощающем почвенном комплексе натрия (калия), ухудшает физические свойства почвы и способствует разрушению поглощающего комплекса; известкование, заменяя обратно поглощенный натрий (калий) на кальций, парализует это вредное действие чилийской селитры.

Петроградский лесной институт,
январь 1922 г.

ОСОЛОДЕНИЕ ПОЧВ [1]

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о происхождении подзолообразных почв в сухих и в полусухих областях («южные подзолистые» почвы), обладающих климатом, не соответствующим процессу оподзоливания почвы, заинтересовал меня с того времени, как мною было доказано лабораторным изучением естественных и искусственно полученных солонцов, что солонцеватость почвы, т. е. присутствие в поглощающем почвенном комплексе поглощенного натрия, делает почву (точнее сказать, ее органический и минеральный поглощающий комплекс) очень нестойкой по сравнению с почвами несолонцеватыми в отношении выщелачивающего и разрушающего действия воды. Та часть почвы, которая содержит поглощенный натрий, сравнительно очень быстро и легко или растворяется в воде (коллоидальное растворение органического поглощающего комплекса, содержащего поглощенный натрий), или разрушается водою (разрушение алюмосиликатного ядра минеральной части поглощающего комплекса); солонец деградирует и получается почва, солодь, обедненная гумусом, с разрушенным в той или другой степени минеральным поглощающим комплексом; поэтому этот процесс (процесс «осолодения») приводит к почвенным образованиям, внешне очень сходным с подзолистыми почвами и дегидрадированными черноземами, но по некоторым химическим признакам и по климатическим условиям образования отличающимся от таковых.

Тогда же * мною было указано характерное отличие процесса осолодения от нормального подзолообразования и деградирования черноземов — накопление при этом процессе в осолодевающих горизонтах солонцов аморфной кремнекислоты. Дальнейшее изучение вопроса показало мне, что дальнейшая эволюция солонцов и солонцеватых почв неодинакова для бескарбонатных солонцов (с каковыми я вначале только и имел дело) и солонцов, содержащих углекислый кальций уже с самой поверхности, «карбонатных» солонцов.

Таким образом, и в засушливом климате может идти процесс раз-

---

[1] Воспроизводится по книге: «Осолодение почв». Носовская сельскохозяйственная опытная станция им. пятилетия Октябрьской революции. Отдел агрохимический. Вып. 44. Изд. Носовской сельскохозяйственной опытной станции, 1926.

* Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. I.— Журн. оп. агр., т. 13, 1912, стр. 409.

рушения почвы, создания в ней элювиального горизонта, раз почва солонцевата; и обратно, если мы в засушливом климате встречаемся с почвами с разрушенным поглощающим комплексом, то это должно служить одним из существенных указаний на бывшую когда-то солонцеватость этих почв, а значит, бывшую еще ранее этой стадии — стадию засоленности этих почв растворимыми натриевыми солями.

Вместе с выяснившимся мне значением солонцеватости почвы, как фактора разрушения почвы, компенсирующего в этом отношении недостаток увлажнения почвы, мне стало ясным, что засоленность почвы и следующая за ней стадия солонцов и солонцеватых почв были в прежнее время значительно более распространенным у нас явлением, и не только в местностях с засушливым климатом, но и в нашей черноземной зоне, а местами и в таежной зоне, что мною и было высказано в моем докладе на съезде почвоведов в Москве в 1921 г. (доклад не напечатан) «Солонцеватость почвы как причина быстрой ее деградации».

Постоянные солонцы и солонцеватые почвы (т. е. такие, которые периодически не возвращаются снова в стадию солончаков) представляют собой, таким образом, почвенные образования неустойчивого характера вследствие своей особой податливости разрушительному действию воды даже в таких областях, где недостаточное увлажнение почвы такового действия на несолонцеватые почвы оказывать не может. Изучение солодей и самого процесса осолодения представляет большой интерес и само по себе, как изучение всякого почвенного процесса, и в частности для познания истории почвенного покрова и для выяснения некоторых явлений. Мы, например, думаем, что наши лесные массивы в черноземной зоне (например, Шипов лес Воронежской губ.) обязаны своим существованием именно осолодению солонцеватых почв, подготовившему черноземную почву для заселения лесом, совершенно подобно тому, как осолодение солонцовых пятен дало возможность появлению лесных колков, осиновых кустов и т. п., только здесь мы имеем дело с явлением, происходившим в гораздо большем масштабе.

Высказанное нами предположение о широком распространении осолодевших почв как следствия некогда бывшего широкого распространения солонцов и солонцеватых почв находит подтверждение в последнее время и со стороны других исследователей. Так, К. П. Горшенин считает, что вообще черноземы Западно-Сибирской равнины являются осолодевшими солонцеватыми почвами; Якутская академическая почвенная экспедиция 1925 г. (А. А. Красюк) нашла в этой области несомненные солоди.

ДЕЙСТВИЕ ВОДЫ НА НЕСОЛОНЦЕВАТЫЕ И СОЛОНЦЕВАТЫЕ ПОЧВЫ

Для того чтобы ясно представить себе различие между процессами оподзоливания и осолодения, нужно изучить действие воды на материнскую породу или почву несолонцеватую, т. е. не содержащую в своем

поглощающем комплексе поглощенного натрия, и солонцеватую, т. е. содержащую поглощенный натрий.

Это действие воды можно изучать методом водных вытяжек или методом промывания почвы на воронке естественных почв, или же для большей сравнимости результатов и большей убедительности — на естественной несолонцеватой почве и искусственно полученной из нее солонцеватой почве, или же обратно — на естественной солонцеватой почве и искусственно полученной из нее рассолонцованной почве.

Из того обширного материала, который накопился у меня с того времени, как я стал интересоваться вопросами солонцеватых почв, и сводка которого будет приведена в моей монографии о солонцах, я здесь приведу лишь несколько данных, в достаточной степени рисующих колоссальное различие в действии воды на солонцеватый и несолонцеватый типы почвы. Начну с естественных почв.

ПОЧВЫ НЕСОЛОНЦЕВАТЫЕ

В среднем из данных, имеющихся у нас и в литературе, можно принять, что из наиболее богатых поглощающим комплексом несолонцеватых и незасоленных суглинистых тучных черноземов водная вытяжка извлекает из верхнего горизонта около 0,05% воднорастворимых веществ, причем примерно половина этого количества приходится на минеральные вещества, а половина на потерю от прокаливания, т. е. на химически связанную воду и улетучивающуюся часть гумуса.

Состав 0,025% минеральных веществ, извлекаемых водной вытяжкой из черноземов, примерно таков. Полуторных окислов вода если и извлекает, то такие ничтожные следы, которые не могут быть уловлены даже в количестве вытяжки, соответствующем 100 *г* почвы; во всяком случае количество $Fe_2O_3+Al_2O_3$ меньше 0,005%, причем железо не обнаруживается даже таким очень чувствительным реактивом, как роданистый аммоний.

Главная масса минерального остатка водной вытяжки состоит из углекислого кальция и углекислого магния, происхождение которых в этом остатке таково: 1) некоторая часть их — это те карбонаты кальция и магния, которые всегда присутствуют в почвенном растворе нормальных черноземов, в которых на некоторой глубине залегает карбонатный слой; 2) часть их образовалась при прокаливании сухого остатка вытяжки из кальция и магния растворенных органических веществ и углекислоты углерода гумуса; 3) наконец, самая существенная часть этих карбонатов получилась путем вытеснения из поглощающего комплекса почвы поглощенных кальция и магния, причем нужно отметить, что бóльшая часть этого кальция и магния вытесняется в черноземах из гуматной части.

Кремнекислоты вода извлекает из чернозема также очень небольшое количество (всего лишь несколько тысячных процента). Такого же порядка будет и величина общего количества питательных веществ, из-

влекаемых водой из почвы (т. е. сумма азотной, фосфорной и серной кислоты и окиси калия).

Количество гумуса, извлекаемое водой из богатых черноземов, в среднем можно принять соответствующим 75 *см*³ 0,05 н. MnO_4K на 100 *г* почвы, т. е. около 0,02%.

Мы видим, таким образом, что разрушающее действие воды в отношении алюмосиликатной части почвы в нормальных (т. е. несолонцеватых и не деградированных) черноземах, измеряемое количествами SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3, извлекаемыми из них водной вытяжкой, чрезвычайно ничтожно; главное действие воды здесь выражается в отношении этой части почвы по преимуществу в вытеснении водородным ионом воды поглощенных оснований.

СОЛОНЦЫ И СОЛОНЦЕВАТЫЕ ПОЧВЫ

Величинами совершенно иного порядка выражается действие воды на солонцеватую почву или на солонцеватую материнскую породу.

Остановлюсь прежде всего на количестве гумуса, извлекаемого водою из солонцеватых почв. Водные вытяжки из несолонцеватых почв очень слабо окрашены, цвет их обычно светло-желтый. Цвет водных вытяжек из гумусовых горизонтов солонцеватых почв в зависимости от степени их солонцеватости изменяется от слабо-желтого до совершенно черного, абсолютно не просвечивающего. Количество гумуса, извлекаемого водной вытяжкой из сильносолонцеватых почв, может достигать величин, соответствующих до 3000 *см*³ 0,05 н. раствора MnO_4K на 100 *г* почвы, т. е. такие солонцы могут отдавать в водную вытяжку около 0,7% гумуса; мы видим, таким образом, что растворимость гумуса в солонцах может быть раз в 35 больше, чем в несолонцеватых черноземах. Даже подпочвенные слои солонцев, почти вовсе не содержащие гумуса (меньше 1%), дают заметно больше растворимого гумуса, нежели богатые гумусом верхние горизонты нормальных черноземов. Отметим, что в этом отношении не замечается особой разницы между солонцами, содержащими углесоли щелочноземельных металлов, и бескарбонатными; и из тех, и из других водные вытяжки (при кратковременном воздействии воды на почву) извлекают много гумуса.

И количества минеральных веществ, извлекаемых водою из солонцов, представляют величины совершенно иного порядка по сравнению с соответствующими величинами, получаемыми из нормальных черноземов. Но здесь необходимо различать солонцы бескарбонатные и карбонатные: в то время как присутствие углесолей кальция и магния существенно не отражается на растворимости гумуса в водных вытяжках из солонцеватых почв, на количество и состав минеральных веществ, извлекаемых из этих почв водой, эти соли влияют очень существенно.

Бескарбонатные солонцы. Рассмотрим сначала действие воды (методом водных вытяжек) на минеральные вещества солонца, не содержащего углесолей кальция и магния. Приведу некоторые цифровые данные.

Столбчатый солонец Каинского уезда, гор. В

Общая сумма воднорастворимых веществ	0,837%
» » минеральных воднорастворимых веществ	0,386%

Хлоридов и сульфатов не содержит; из растворимых солей имеется только сода.

Продиализированная водная вытяжка из этого солонца содержала:

Общий сухой остаток	0,449%
Минеральный » »	0,080%

Разность между минеральным остатком водной вытяжки не продиализированной (0,386%) и продиализированной (0,080%) составляет 0,306% и падает почти целиком на соду, первоначально присутствовавшую в водной вытяжке и образовавшуюся при прокаливании сухого остатка из гумата натрия водной вытяжки.

Прокаленный сухой остаток продиализированной водной вытяжки состоял из следующего (в % от веса сухой почвы).

SiO_2	0,012	сумма 0,082
Al_2O_3	0,025	
Fe_2O_3	0,045	

Таким образом, в то время как вода из нормальных черноземов извлекает методом водной вытяжки во всяком случае не больше, чем по 0,001% кремнекислоты, глинозема и окиси железа, из столбчатого горизонта означенного солонца она извлекла этих окислов в сумме 0,082%, т. е. по крайней мере в 25 раз больше.

Солонец Якутской области. Данные водной вытяжки (в процентах от веса почвы)

Горизонты, *см*	Сухой остаток		Воднорастворимый гумус, титрованием
	просушенный	прокаленный	
0—10	0,080	0,042	0,023
10—20	0,677	0,348	0,116
20—30	0,831	0,473	0,101
130—140	0,160	0,119	0,018

Горизонты 0—10 и 10—20 *см* не содержат ни растворимых солей (кроме соды), ни карбонатов щелочноземельных металлов; ниже почва вскипает и в гор. 20—30 *см* имеется немного сернокислого натрия.

В прокаленном остатке водных вытяжек найдено
(в процентах от веса почвы)

Горизонты, *см*	SiO_2	$Fe_2O_3 +$ $+ Al_2O_3$	Горизонты, *см*	SiO_2	$Fe_2O_3 +$ $+ Al_2O_3$
0—10	0,009	0,003	20—30	0,002	0,004
10—20	0,120	0,070	130—140	0,001	0,003

И в этом примере мы видим, что в солонцеватом горизонте 10—20 *см*, не содержащем карбонатов кальция и магния (вышележащий горизонт 0—10 *см* представляет уже почти рассолонцеванную солодь), водная вытяжка извлекает большое количество гумуса и очень много кремнекислоты, глинозема и окиси железа. О нижележащих горизонтах, как карбонатных, мы скажем ниже.

Число примеров можно было бы значительно увеличить, но и приведенные два в достаточной степени подтверждают положение, что вода извлекает из солонцов и солонцеватых почв, не содержащих карбонатов кальция и магния, во много раз больше и гумуса, и окислов кремния, алюминия и железа, нежели из почв несолонцеватых. Извлекаемые водной вытяжкой кремнекислота и полуторные окислы являются результатом распада алюмосиликатного ядра почвенного минерального поглощающего комплекса, а гумус, извлекаемый водой из солонцов, представляет коллоидально распыленную органическую часть того же поглощающего комплекса, насыщенную натрием. Поэтому на основании приведенных данных можно сказать, что распыляющее действие воды водной вытяжки на органическую часть поглощающего комплекса и разлагающее действие ее на алюмосиликатную часть этого комплекса солонцов и солонцеватых почв во много раз сильнее, нежели таковое же действие на эти части поглощающего комплекса несолонцеватых почв.

Еще более резкое подтверждение этого положения можно видеть при выщелачивании водою несолонцеватых почв, а также почв, превращенных нашим методом в солонцеватые (насыщение почвы натрием многократной обработкой ее раствором соли натрия, с удалением затем диализом из почв растворимых солей), т. е. в почвы, насыщенные натрием. Приведу здесь два примера.

Пример 1. 5 *г* суглинистого несолонцеватого чернозема промывались небольшими порциями воды, пока не набрался одни литр фильтрата. То же было сделано с 5 *г* того же чернозема, но насыщенного натрием. Вот результаты анализа этих двух фильтратов (в процентах от веса почвы).

Почва	Сумма минеральных веществ	SiO_2	$Al_2O_3 +$ $+ Fe_2O_3$	Гумус (титрованием)
Первоначальная	0,09	0,016	Сл.	0,01
Насыщенная Na	1,88	0,296	0,890	2,88

Пример 2. 25 *г* того же чернозема, первоначального и насыщенного натрием, обрабатывались последовательно водой методом водных вытяжек; обработка производилась семь раз. Собранные фильтраты (по 1290 *см*³ для каждой почвы) анализировались. Получились следующие данные (в процентах от веса почвы). Вода извлекла:

Почва	Сумма минеральных веществ	SiO_2	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$
Первоначальная	0,08	0,02	Сл.
Насыщенная Na	1,60	0,46	0,74

В первом примере мы видим, что при промывании 5 *г* почвы, насыщенной натрием, литром воды, последняя разрушила в 100 *г* почвы 1,186 *г* алюмосиликатного ядра, а во втором примере 1,2 *г*, между тем как в первоначальной почве, не содержащей поглощенного натрия, а потому несолонцеватой, разрушения почти не было (всего около 0,02 *г*). Интересно отметить, что из той же почвы, не насыщенной натрием, двадцатью пятью последовательными вытяжками (общее количество воды 12,5 *л* на 500 *г* почвы) в общей сложности извлечено было 0,58 *г* минеральных веществ на 100 *г* почвы. Минеральный остаток не анализировался, но по составу остатка отдельных вытяжек можно утверждать, что в нем было не больше чем 0,025 *г* SiO_2 и 0,025 *г* $Al_2O_3 + Fe_2O_3$.

Думаю, что все приведенные данные совершенно определенно доказывают, что сопротивляемость выщелачивающему и разрушающему действию воды у бескарбонатных солонцеватых почв вследствие содержания в их поглощающем комплексе поглощенного натрия во много раз меньше, чем у почв несолонцеватых.

Карбонатные солонцы. Перейду теперь к рассмотрению действия воды на солонцы, содержащие углесоли кальция и магния. Этот тип солонцов и солонцеватых почв представляет для нас особый интерес, так как такие именно солонцы и солонцеватые почвы широко распространены в области днепровского ледникового языка; насколько нам известно, в районе Носовской сельскохозяйственной опытной станции и на юг от этого района все солонцы Днепровской низины именно карбонатные с самой своей поверхности; эта особенность их накладывает на них определенный отпечаток: они бесструктурны, содержат большее сравнительно количество соды и дальнейшая судьба их, как мы увидим дальше, иная, нежели бескарбонатных солонцов.

В северной части днепровского ледникового языка имеются солонцеватые почвы бескарбонатные; встречаются ли там исключительно бескарбонатные солонцы, а если нет, то в каком соотношении они находятся между собою — эти вопросы могут быть решены лишь детальным обследованием почвенного покрова этой части Днепровской впадины. Нельзя, конечно, отрицать возможности нахождения бескарбонатных со-

лонцов и в южной части днепровского ледникового языка; вообще нужно признать, что солонцеватые почвы и солонцы этой области изучены и в полевом и в лабораторном отношении еще очень слабо.

Чтобы показать, как вода действует на карбонатные солонцы и какое различие проявляется в этом отношении между такими и бескарбонатными солонцами, приведу, как и раньше, сначала данные водной вытяжки для естественных солонцов (см. табл. 1), а затем уже соответствующие лабораторные опыты с искусственными солонцами.

Таблица 1

Данные водной вытяжки из солонцов района Макиевского оп. поля
(в % от веса почвы)

Горизонт	Сумма минеральных веществ	SiO_2	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	Гумус (титрованием)
1. Злостный солонец				
0—13	0,442	0,009	Сл.	0,304
13—26	0,638	0,010	»	0,369
2. Сильносолонцеватая почва с бугра (анализ Н. М. Михайлова)				
0—10	0,104	0,006	0,001	0,083
10—20	0,118	0,003	0,001	0,077
100—110	0,029	0,002	0,001	0,014

Приведенные данные показывают, что из карбонатных солонцов водная вытяжка извлекает так же много гумуса, как и из бескарбонатных; но действие воды на минеральную часть почвы карбонатных солонцов совершенно иное, чем бескарбонатных. И здесь воднорастворимых веществ получается очень много, но этот минеральный остаток почти целиком состоит из соды; кремнекислоты же и полуторных окислов водная вытяжка почти вовсе не извлекает из карбонатных солонцов: вода чрезвычайно слабо разрушает алюмосиликатное ядро в поглощающем комплексе солонца в том случае, когда в солонце содержатся углесоли щелочноземельных металлов; но если сравнить вышеприведенные данные с результатами водной вытяжки не из бескарбонатных солонцов, а из нормальных черноземов, то увидим, что и из карбонатных солонцов вода извлекает кремнекислоты и полуторных окислов все-таки больше, чем из нормальных черноземов.

Влияние присутствия карбонатов кальция и магния на разрушаемость водою алюмосиликатного ядра почвенного поглощающего комплекса можно видеть не только на отдельных разрезах карбонатного и бескарбонатного солонцов, но и на различных горизонтах одного и того же солонца, если в числе этих горизонтов имеются и бескарбонатные, и карбонатные. Таковым является солонец Якутской области, водная вытяжка

которого приведена на стр. 134. Мы остановимся несколько на этом примере.

Первый горизонт его (0—10 *см*) бескарбонатный и представляет осолодевший уже солонец; на это указывает, между прочим, малое содержание соды (0,030%). Второй горизонт (10—20 *см*) — солонец (осолодевший ли он или нет — данные не дают возможности решить, так как не с чем его сравнивать; но во всяком случае степень осолодения его меньше, чем у горизонта 0—10 *см*); он так же, как и верхний горизонт, не содержит карбонатов кальция и магния; разрушающее действие воды на алюмосиликатное ядро поглощающего комплекса этого горизонта, как мы видели, очень сильное, значительно сильнее, чем на верхний горизонт, потому что последний уже значительно рассолонцевался естественным путем. Горизонты 20—30 и 130—140 *см* — карбонатные и, как мы видим, вода извлекает из них, несмотря на сильную их солонцеватость (гор. 20—30 *см* более богат содой — 0,252%, чем гор. 10—20 *см* — 0,151%), уже ничтожные количества и кремнекислоты и полуторных окислов.

Из своих лабораторных опытов по влиянию углесолей кальция и магния на разрушаемость водой алюмосиликатного поглощающего комплекса я приведу здесь результат действия воды на суглинистый чернозем, полностью насыщенный натрием в отсутствии и присутствии углекислого кальция. 5 *г* почвы, насыщенной натрием, без углесолей и смешанных с углесолями, выщелачивались на воронке одним литром воды каждая. В фильтрате найдено (в процентах от веса почвы):

Почва	Сумма минеральных веществ	SiO_2	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$
Насыщенная Na	1,88	0,296	0,89
То же + $CaCO_3$	2,40	0,026	Сл.

Опыт показывает совершенно то же, что и сравнительный анализ естественного карбонатного и бескарбонатного солонцов: в почве, насыщенной натрием, прибавление углесолей кальция и магния чрезвычайно сильно понижает количество воднорастворимой кремнекислоты и полуторных окислов; и так как в этом опыте одна навеска отличалась от другой только присутствием или отсутствием $CaCO_3$, то можно с уверенностью утверждать, что различное действие воды на естественные бескарбонатные и карбонатные солонцы обусловливается именно этим обстоятельством, а не каким-либо другим различием между этими почвами.

Вся совокупность имеющихся данных с полной несомненностью показывает, таким образом, что сопротивляемость растворяющему и разрушающему действию воды органической части и минеральной части почвенного поглощающего комплекса в солонцах и солонцеватых почвах значительно меньше, чем в почвах несолонцеватых, и что сопротивляе-

мость эта тем меньше, чем выше солонцеватость почвы; причем она находится еще в тесной зависимости от отсутствия или присутствия в солонце углесолей кальция и магния; в присутствии таковых солей сопротивляемость разрушающему действию воды на алюмосиликатное ядро минерального поглощающего комплекса очень сильно повышается, и солонец в этом отношении приближается уже к несолонцеватой почве, растворяющее же действие воды на органическую часть почвы остается очень высоким и в присутствии карбонатов кальция и магния. То количество воды, которым можно в бескарбонатном солонце вымыть всю органическую часть поглощающего комплекса и разрушить весь алюмосиликатный поглощающий комплекс и которым можно из карбонатного солонца выщелочить всю органическую часть поглощающего комплекса, это количество воды из несолонцеватой почвы сможет извлечь лишь самые ничтожные количества органического поглощающего комплекса и лишь в ничтожной степени разрушить алюмосиликатный поглощающий комплекс почвы.

Остановимся теперь на выяснении причины различия в действии воды на почвы солонцеватые и почвы несолонцеватые, и на карбонатные и бескарбонатные солонцы.

Исходным пунктом в выяснении этого явления будет доказанное мною и развитое в целом ряде моих работ основное положение теории солонцеватости почв, заключающееся в том, *что солонец или солонцеватая почва отличается от всех остальных почв присутствием в поглощающем комплексе поглощенного натрия.* Раз в почве имеется поглощенный натрий, почва будет солонцеватой; степень ее солонцеватости будет тем больше, чем больше в ней поглощенного натрия. Раз в почве нет поглощенного натрия, она будет несолонцеватой. Все особые свойства солонцов и солонцеватых почв, отличающие их от почв несолонцеватых, вызваны в конце концов этим присутствующим в них поглощенным натрием. И то свойство, о котором сейчас идет здесь речь, т. е. особая податливость действию воды всего поглощающего комплекса бескарбонатных солонцов и органической его части карбонатных солонцов, обязана присутствию в солонцах поглощенного натрия. *Поглощенный натрий способствует растворяющему и разрушающему действию воды на почвенный поглощающий комплекс.* Так действует поглощенный натрий потому, что в присутствии его почвенные гуматы и коллоидальные минеральные частички, находясь в несолонцеватых почвах в виде микроструктурных элементов, а не отдельных, самостоятельных частиц, распыляются водой до отдельных частиц коллоидальных размеров.

Так, например, в одной сильно глинистой почве во взмученном в воде состоянии найдено частиц меньше 0,2 *мкм*; в естественном ее состоянии, насыщенном только кальцием и магнием (почва несолонцеватая) 1,3% от веса почвы; в состоянии же, полностью насыщенном натрием, таких частиц было 45,0%. Такое сильное повышение количества коллоидальных частиц, или степени коллоидальности почвы, произошло за счет других, более крупных фракций, а именно более крупных частиц или

стой фракции и фракции мелкой и средней пыли; в почве естественной, пасыщенной кальцием и магнием и не содержавшей вовсе поглощенного натрия, эти частички представляли из себя не механические элементы, а микроструктурные агрегаты их, настолько сильно сцементированные, что водою и обычными приемами подготовки почвы к механическому анализу они не разбивались (или разбивались не вполне) на отдельные зерна. То, что вода не в состоянии была сделать, когда в поглощающем комплексе содержался только поглощенный кальций и магний, она легко сделала после замены кальция и магния поглощенным натрием, т. е. после перевода несолонцеватой почвы в солонец.

Почему при поглощенных кальции и магнии имеем прочную, не разбивающуюся водою микроструктуру, а при поглощенном натрии эти микроструктурные элементы легко поддаются распыляющему действию воды? Объяснить это можно тем, что в почвенной влаге почвы, насыщенной кальцием и магнием, имеются всегда в растворе сильно свертывающие катионы кальция и магния; свертывающему действию их не может препятствовать более слабый, чем они, стабилизатор отрицательных коллоидов — гидроксильный ион, которого, кроме того, в почвенной влаге всегда очень мало, так как ион кальция и магния связан там с ионом двууглекислоты, углекислые же соли кальция и магния в растворе почти не имеются. Другое дело в почве, насыщенной натрием; в почвенном растворе ее будет углекислый и двууглекислый натрий; концентрация их может быть значительно выше, чем углесолей щелочноземельных металлов, а кроме того, что наиболее существенно в данном случае,— свертывающее действие иона натрия значительно слабее стабилизирующего действия гидроксильного иона.

В присутствии соды в почвенном растворе (а таковая всегда будет в нем, раз почва содержит поглощенный натрий, т. е. раз она солонцевата) почва всегда содержит стабилизатор коллоидального состояния почвенных коллоидальных частиц, благодаря которому в отсутствие в почвенном растворе заметных количеств электролитов почвенная вода распыляет микроструктурные элементы почвы. Но если в солонцах поглощающий почвенный комплекс в присутствии воды находится в значительно более распыленном состоянии, нежели в почвах несолонцеватых, то естественным и прямым следствием отсюда является для органической его части (гумата натрия) — легкое просачивание ее коллоидальных растворов, всегда высокой степени дисперсности (на границе с молекулярной дисперсностью), через почвенную толщу вниз, а для алюмосиликатной части поглощающего комплекса — значительно бо́льшая поверхность взаимодействия между этой частью и почвенной влагой, нежели в случае несолонцеватой почвы, а последнее и вызывает значительно более энергичное разложение алюмосиликатного ядра этого комплекса на составляющие его окислы кремния, алюминия и железа, что и подтверждается решительно всеми имеющимися многочисленными данными.

Защитная роль засоляющих почву солей. Таким образом, особая податливость поглощающего комплекса солонца разрушающему действию

воды обусловливается присутствием в этом комплексе поглощенного натрия. Но поглощенный натрий содержится и в натриевых солончаках, и в карбонатных солонцах, а действие воды на такие почвы, однако, иное, чем на бескарбонатные солонцы.

Получается как будто бы противоречие с только что высказанным основным положением. На самом деле противоречия нет: основное положение остается совершенно справедливым; просто в означенных почвах имеются привходящие условия, препятствующие поглощенному натрию понижать сопротивляемость почвенного поглощающего комплекса разрушительному действию воды. Таким привходящим условием является присутствие в солончаках и карбонатных солонцах простых солей (в первом случае легкорастворимых, во втором — труднорастворимых), оказывающих защитное влияние на поглощающий почвенный комплекс в отношении действия на него воды *.

В первом случае, в случае солончаков, защитными солями являются легкорастворимые хлориды и сульфаты натрия, которые, если их количество достаточно (случай чистых солончаков), своим осаждающим действием свертывают коллоидальные частицы почвенного поглощающего комплекса в такой уже сильной степени, что не только совершенно парализуют распыляющее действие натрия и понижают вследствие этого разрушительное действие воды до степени его в несолонцеватой почве, но и значительно дальше; в таких чистых солончаках разрушительное действие воды уже значительно ниже, чем в несолонцеватых и вместе с тем и незасоленных почвах; такие почвы становятся менее коллоидальными, со всеми вытекающими отсюда последствиями в отношении и химических, и физических свойств, и не только по сравнению с солонцами, но и с несолонцеватыми почвами.

Если засоляющих легкорастворимых солей натрия мы имеем в почве недостаточное количество для того, чтобы полностью парализовать распыляющее действие натрия, т. е. если мы имеем солончак-солонец или солонец-солончак, то естественно, такая почва по разрушительному действию воды будет приближаться то к несолонцеватой, то к солонцу, в зависимости от количества этих солей.

Защитная роль углекислого кальция. Ту же роль защитной соли в карбонатных солонцах играет углекислый кальций (буду всюду ниже говорить только о нем, так как роль углекислого магния подчиненная и в общем того же порядка, как и карбоната кальция), но вследствие его малой растворимости и обменной его реакции с поглощающим почвенным комплексом, содержащим поглощенный натрий, с образованием соды, явление здесь значительно сложнее.

Прежде всего, как мы видели из данных водных вытяжек из карбонатных солонцов и солонцеватых почв, в присутствии углекислого

* См. наши работы: «Почвы, ненасыщенные основаниями» (Журн. оп. агр., Т. XXII, ч. 1, стр. 1) и «Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция». Труды Носовской с.-х. оп. станции, вып. 41, 1926.

кальция вода может извлекать большое количество гумуса, значительно большее, нежели из соответствующих несолонцеватых почв; но из лабораторных опытов по влиянию углекислого кальция на растворимость гумуса в искусственном солонце следует, что все-таки растворимость гумуса в солонце в присутствии углекислого кальция ниже, чем в том же солонце без этой соли, хотя заметно выше, чем в соответствующей (первоначальной) несолонцеватой почве; таким образом, присутствие в солонце углекислого кальция уменьшает доступность органической части поглощающего комплекса выщелачивающему действию воды, защищает эту часть от вымывания, но все-таки не в такой степени, в какой она защищена в почвах несолонцеватых насыщенностью их поглощающего комплекса кальцием и магнием; причем эта защитная роль углекислого кальция значительно сильнее у солонцеватых почв, нежели у солонцов; так что чем почва более солонцевата, тем слабее защищает углекислый кальций ее гуматную часть от выщелачивания водой.

Следующий опыт проливает свет на причину этого явления. Если взболтать с водой две одинаковые навески одного и того же карбонатного солонца, одну из них оставить стоять не отфильтрованной (закрытой или открытой), а другую отфильтровать и оставить стоять эту отфильтрованную вытяжку, то можно наблюдать следующее явление.

Отфильтрованная черная вытяжка при стоянии не меняет в общем своего вида; у меня имеется такая вытяжка из макиевского злостного солонца, стоящая в покое уже четвертый год; цвет вытяжки остается и поныне такой же интенсивно черный, как и в начале опыта; имеется, правда, небольшой черный осадок на дне сосуда; это, по всей вероятности, успевшие осесть наиболее крупные коллоидальные частички гумата натрия.

Иное происходит в неотфильтрованной вытяжке. Через некоторое время после оставления ее в покое главная масса почвенных частиц оседает на дно сосуда, а над осадком остается черная жидкость с небольшой примесью мелких почвенных частиц; через месяца 2—3 и они оседают на дно, и над почвой получается черная водная вытяжка, совершенно не мутная. Затем примерно на четвертый месяц, в полузакрытых позже, а в герметически закрытых еще позже (через год с лишним), черное органическое вещество начинает оседать и жидкость просветляться; полное просветление (почти бесцветная жидкость) получается раньше всего в открытом сосуде, а в герметически закрытом значительно позже; остатки заметной желтизны исчезли здесь лишь на третьем году.

Этот опыт позволяет вникнуть ближе в механизм влияния углекислого кальция на гуматную часть поглощающего комплекса. Растворимость углекислого кальция мала и стоит в непосредственной зависимости от содержания в почвенной влаге углекислоты; запас этой углекислоты в данный момент представляет определенную величину, в зависимости от которой и будет находиться количество растворившегося углекислого кальция; на это количество и будет израсходована вся

имеющаяся в данный момент в почвенной влаге углекислота. Полученное в общем очень небольшое количество растворенного двууглекислого кальция будет еще заметно уменьшено, так как часть его, и довольно значительная, обменяет свой кальций на поглощенный натрий с образованием в растворе соды; часть гумата натрия при этом перейдет в гумат кальция, и на эту часть, которая при этом свернется, вытяжка из карбонатного солонца будет беднее растворенным гумусом по сравнению с вытяжкой такой же, но бескарбонатного солонца.

При дальнейшем стоянии вытяжки вместе с почвой постепенно почвенная влага снова обогащается углекислотой как из воздуха, так и благодаря идущему разложению гумуса (что доказывается просветлением герметически закрытой вытяжки, притом более медленным, чем открытой вытяжки); обогащение идет, конечно, медленно; параллельно с ним происходит постепенное растворение почвенного углекислого кальция, а значит, и образование новых количеств гумата кальция и постепенное повышение количества соды в растворе (что подтверждается непосредственными последовательными определениями соды в стоящей вытяжке). Так как все время часть растворяющегося двууглекислого кальция переходит вследствие обменной реакции с поглощенным натрием почвы в соду, то концентрация иона кальция в вытяжке очень ничтожна; те количества его, которые в каждый данный момент имеются в вытяжке, и при том количестве гидроксильного иона, который имеется в вытяжке благодаря большим количествам соды, недостаточны для свертывания коллоидальных частиц, что доказывает отфильтрованная вытяжка, остающаяся при хранении в несвернутом состоянии.

Постепенное выпадение органических коллоидов в неотфильтрованной вытяжке происходит по другим причинам. Во-первых, в конце концов свертывающе начинает действовать сама сода; правда, электролитический порог соды значительно выше, чем у остальных нейтральных и особенно кислых солей, благодаря гидроксильному иону, получающемуся в водных растворах этой соли, но все-таки он (т. е. электролитический порог) существует, и когда концентрация соды в вытяжке станет выше его, сода начинает коагулировать коллоидально растворенные частички почвы. Во-вторых, тут, несомненно, играет роль и другое обстоятельство — переход гумата натрия в гумат кальция. Вокруг каждой коллоидальной частички, на поверхности которой натрий заместился кальцием, вместо слоя жидкости, богатого едким натром (мои еще неопубликованные исследования показывают, что гидраты окисей щелочных и щелочноземельных металлов чрезвычайно сильно физически поглощаются в слое воды, окружающем частички почвы), стабилизирующим раздельное существование этих частичек, появляется слой жидкости, богатый гидратом окиси кальция, действие которого в этом отношении значительно слабее едкого натра вследствие значительно более сильного свертывающего действия кальция, нежели натрия; в этих условиях, когда достаточное количество натрия на поверхности частичек гумата будет замещено кальцием, должно происходить свертывание раздельных частиц

гумата; должны образовываться их агрегаты; но эти агрегаты не могут быть сколько-нибудь значительной величины, они должны быть сравнительно очень мелки, так как свертывающее действие гидрата окиси кальция, благодаря большому количеству гидроксильного иона и сравнительно малому количеству иона кальция, не может быть сильным.

Что это именно так, показывает то обстоятельство, что карбонатные солонцы по своим физическим свойствам (большая набухаемость, клейкость, образование крупных структурных отдельностей, водонепроницаемость и т. д.) приближаются к бескарбонатным солонцам; они также высоко коллоидальны, значительно более коллоидальны, чем соответствующие несолонцеватые почвы, но вместе с тем менее коллоидальны, чем бескарбонатные солонцы, и именно потому, что их коллоидальная часть меньшей степени дисперсности, чем коллоидальная часть бескарбонатных солонцов.

В природных условиях, по всей вероятности, происходит нечто среднее между тем, что наблюдается в отфильтрованных водных вытяжках и в жидкостях, содержащих и саму почву: после выпавшего, например, дождя влага растворяет гумат натрия солонца, но по мере просачивания этого раствора вниз, протекающего в солонцах сравнительно медленно, часть гумата выпадает в виде осадка и задерживается почвою; вынос органических веществ из карбонатного солонца в грунтовые воды происходит поэтому значительно слабее, чем в солонцах бескарбонатных. Углекислый кальций в той или другой степени, но не полностью защищает солонцы от потери ими в процессах выщелачивания их атмосферными осадками органической части их поглощающего комплекса.

Углекислый кальций, как мы видели из лабораторного исследования, защищает солонцы и солонцеватые почвы и от разрушения водою их алюмосиликатного поглощающего комплекса, причем защита в этом отношении значительно более полная, чем в отношении гуматной части поглощающего комплекса; в присутствии углекислого кальция в солонце под действием воды алюмосиликатная часть поглощающего комплекса разлагается на составляющие ее окислы кремния, алюминия и железа, во всяком случае значительно слабее, нежели в бескарбонатных солонцах и солонцеватых почвах.

Причины защитного действия карбоната кальция на алюмосиликатную часть поглощающего комплекса, насыщенного натрием, те же, какие мы указывали выше относительно гуматной части; более же полное предохранение от разрушения алюмосиликатной части обусловлено тем, что эта часть поглощающего комплекса, даже при полном насыщении его натрием, обладает значительно меньшей степенью дисперсности, чем гуматная часть при том же насыщении натрием; а чем выше степень дисперсности коллоидального раствора, тем труднее он свертывается, так как тем выше электролитический порог осадителей.

ОСОЛОДЕНИЕ ПОЧВ

Выщелачивание гумуса и разрушение алюмосиликатного ядра поглощающего почвенного комплекса в солонцах и солонцеватых почвах под влиянием промывания почвы атмосферными водами приводит в конце концов к новому почвенному образованию, в некоторых случаях с морфологической стороны очень сходному с подзолистыми почвами той или другой степени оподзоленности. Но отождествлять этот процесс деградации солонцов с процессом оподзоливания почвы, протекающим в подзолистой зоне, а получающееся под влиянием этой деградации новое почвенное образование — с подзолистыми почвами было бы по существу неправильно и нерационально.

Морфологически они, конечно, сходны или, вернее сказать, морфологически деградированный солонец наиболее похож на подзолистую почву; но необходимо отметить, что морфология деградированных солонцов еще очень мало изучена; хотя мы и имеем превосходное в этом отношении исследование Т. И. Попова «Происхождение и развитие осиновых кустов» (Труды Докучаевск. почв. комитета, вып. 2, 1914), но оно не исчерпывает, конечно, всего вопроса и касается лишь деградированных солонцов черноземной зоны, и притом только бескарбонатных солонцов. А главное, между деградированными солонцами и первичными подзолами имеется целый ряд существенных отличий как в отношении процессов, их обусловливающих, так и в отношении внутренних свойств самих образований.

Прежде всего укажу, что деградированный солонец будет, конечно, вторичной почвой, которая, в отличие от вторичных подзолов, образуется только из солонцов и солонцеватых почв; таким образом, деградированный солонец непосредственно связан с бывшей солонцеватостью и своим возникновением обязан этому свойству почвы; он является конечной стадией эволюции солончаковых почв; уже одна эта предшествующая его история, отличная от истории и первичных подзолов, и вторичных подзолов, возникших из несолонцеватых почв, дает полное основание выделить деградированные солонцы в особую группу почв и дать им собственное название.

Далее, как мы видели, благодаря особой податливости поглощающего комплекса солонцов вымывающему и разрушающему действию воды деградация солонца может дойти до очень резких степеней, с удалением большей части гумуса и с разрушением значительной доли алюмосиликатного комплекса, в областях с таким засушливым климатом, где первичные процессы оподзоливания и деградация несолонцеватых почв совершенно немыслимы; в областях же, где эти процессы по условиям увлажнения могут протекать, там таких же стадий разрушения солонцы будут достигать в гораздо более короткий срок.

Солонцеватость почвы и является тем необходимым условием, благодаря которому возможно в областях с сухим и засушливым климатом появление и существование почв, имеющих резко выраженные го-

ризонты с разрушенным алюмосиликатным поглощающим комплексом, что приближает их в этом отношении к подзолистым почвам.

Кроме особой причины разрушения поглощающего комплекса у деградированных солонцов по сравнению с подзолистыми почвами, и судьба продуктов распада алюмосиликатного ядра, как мы увидим ниже, неодинакова у тех и других.

Укажем, наконец, что деградация некоторых солонцов может привести к почвам, у которых признаков, по крайней мере ясных, подзоловидности нельзя обнаружить; а между тем генезис их тот же, что и подзоловидных деградированных солонцов. Очевидно, кладя в основу классификации принцип генезиса, неудобно одни деградированные солонцы относить к группе вторичных подзолов, а другие, например, к почвам черноземным.

На основании приведенных выше соображений мы считаем правильнее дать деградированным солонцам особое название, например сохранить за всей группой этих почв одно из народных их названий — «*солоди*», а сам процесс рассолонцевания солонцов называть «*осолодением*».

Так как осолодение бескарбонатных и карбонатных солонцов протекает неодинаково, то мы рассмотрим их в отдельности каждый.

ОСОЛОДЕНИЕ БЕСКАРБОНАТНЫХ СОЛОНЦОВ

Результатом чрезвычайной податливости действию воды поглощающего комплекса бескарбонатных солонцов является быстрое выщелачивание органической части его промывающими почву водами. Потеря гумуса в этих почвах должна идти очень энергично не только вследствие сильного выщелачивания, но и по другой причине, а именно вследствие усиленного разложения воднорастворимого гумуса микроорганизмами почвы, вследствие обилия доступного для них гумуса. В результате полного рассолонцевания вся гуматная часть бескарбонатного солонца, насыщенная натрием, исчезает из почвы. Очевидно, чем солонцеватее была почва, т. е. чем больше она содержала поглощенного натрия, тем сильнее будет различаться получившаяся из солонца окончательная солодь по содержанию гумуса от первоначального солонца и тем быстрее должны проявиться ясно заметные на глаз признаки деградации солонца.

Вместе с растворением и выщелачиванием гуматной части поглощающего комплекса солонца идет, как мы видели, энергичный распад его алюмосиликатной части на кремнекислоту и полуторные окислы. Осолодевающий солонец становится все более и более бедным минеральным поглощающим комплексом, пока не достигнет окончательной стадии осолодения — солоди; очевидно, чем выше солонцеватость почвы, чем богаче она поглощенным натрием, тем больше будет разница в количестве алюмосиликатной части почвы в стадии ее солонца и солоди.

В результате потери солонцом в процессе осолодения той или другой части органического и минерального поглощающего комплекса мы получим почву с внешними признаками подзоловидной почвы; степень

выраженности этих признаков, очевидно, будет находиться в прямой зависимости от степени солонцеватости первоначального солонца и от того, как далеко пошел процесс его осолодения. Совпадают ли вполне морфологические признаки солоди с таковыми подзолистой почвы с соответствующей степенью оподзоленности, я не знаю; как я указывал выше, морфология солодей недостаточно изучена для категорического ответа на этот вопрос. Более широкое и детальное изучение солодей из различных местностей даст ответ на это. Нас сейчас занимает другое, а именно признаки в химическом составе солодей, отличающие их от первичных подзолистых почв и от вторичных подзолов, происшедших путем деградации несолонцеватых почв. Такие отличительные признаки непременно должны существовать; найти их и дать способы их определения представляет задачу, очень существенную для выяснения генезиса наших южных подзолов, а вместе с тем истории почвенного покрова.

Если солонец или солонцеватая почва не вполне рассолонцевалась, то образовавшаяся солодь должна обладать еще признаками солонцеватости, т. е. содержать в своем поглощающем комплексе остатки поглощенного натрия. Если исследование подзолообразной почвы, находящейся в климатических условиях, не соответствующих процессу подзолообразования, покажет на присутствие в ней поглощенного натрия, то с большой вероятностью можно считать такую почву осолодевшим солонцом. Но если в солоди мы имеем окончательную стадию деградации солонца, т. е. полное удаление из него поглощенного натрия, то для установления природы такой почвы приходится искать другие химические признаки. Таковые отличительные признаки в солодях, происшедших из бескарбонатных солонцов, должны быть и в органической, и в минеральной частях почвы.

Гумус солодей. Остановимся прежде всего на составе гумуса в солодях и подзолистых почвах и посмотрим, чем он может отличаться в осолодевшей почве и во вторичном подзоле, образовавшемся путем деградации чернозема.

В процессе осолодения идет, как мы видели, очень быстрое удаление из почвы органического поглощающего комплекса, т. е. солеобразной части гумуса; в процессах деградации несолонцеватых черноземов также, конечно, идет и вымывание, и усиленное разложение микроорганизмами этой части гумуса, в связи с переходом насыщенного основаниями поглощающего комплекса в состояние ненасыщенности; но здесь это убывание происходит очень медленно. В обоих случаях наряду с убыванием солеобразных гумусовых веществ идет процесс обратный: гуматная часть поглощающего комплекса вновь образуется гумификацией мертвых органических остатков и из индифферентной части гумуса; это новообразование во всяком случае не может ускоряться солонцеватостью почвы. Поэтому в результате при осолодении должно возрастать отношение между индифферентной частью гумуса и гуматной частью поглощающего комплекса гораздо быстрее, нежели при деградации несолонцеватых черноземов и при подзолообразовании вообще.

Таким образом, мы думаем, что в гумусе осолодевших почв должна преобладать индифферентная часть гумуса по сравнению с подзолистыми почвами. Возможно, что гумус тех и других почв различается между собою не только количественным отношением различных входящих в него соединений, но и качественно. Возможно, далее, что степень окисляемости гумуса (т. е. соотношение между количеством гумуса, определенным по углероду, и количеством его, определенным окислением марганцевокислым калием) в тех и других почвах будет различна.

Должно быть существенное различие и в отношении азотистых органических веществ в солодях и подзолистых почвах; в солодях органические азотистые соединения должны обладать меньшей подвижностью; иной должен быть и процент содержания азота в гумусе тех и других почв. Вообще в этом направлении открывается обширная область для исследований, могущих пролить свет не только в отношении генезиса южных подзоловидных почв, но и в отношении происхождения и свойств гумуса; но здесь именно необходимы предварительные исследования; без них же указать какой-либо прием для распознания солодей от подзолистых почв по свойствам их гумуса нет возможности.

Алюмосиликатный поглощающий комплекс солодей. Иное дело с минеральной частью поглощающего комплекса. Мы видели, что при осолодении, в противоположность тому, что имеет место в процессах оподзоливания, происходит усиленный распад алюмосиликатного ядра поглощающего комплекса; почвенные растворы осолодевающих почв должны быть очень богаты по сравнению с оподзоливающимися почвами коллоидально-растворенной кремнекислотой и коллоидально-растворенными полуторными окислами. Вследствие сравнительно высокой концентрации эти вещества должны находиться в состоянии, гораздо менее устойчивом, нежели в почвенных растворах оподзоливающихся почв. Неустойчивость золей кремнекислоты и полуторных окислов в осолодевающих почвах увеличивается еще вследствие того, что в первые стадии осолодевания, которое начинается еще тогда, когда солонец может содержать небольшие количества растворимых солей натрия, и продолжается в тот период, когда почвенные растворы богаты содой,— в осолодевающих почвах инстабилизирующий золи фактор (электролиты) значительно сильнее выражен, нежели в оподзаливающихся почвах, в которых сам процесс оподзаливания начинается лишь тогда, когда почвы эти крайне обеднены растворимыми солями.

Накопление аморфной кремнекислоты в солодях. Таковы теоретические соображения, которые заставили меня еще в 1912 г. высказать предположение о возможном накоплении аморфной кремнекислоты в осолодевающих почвах и именно в их осолодевающих горизонтах * и побу-

---

* Предполагать накопление в солодях гидратов окиси железа я, конечно, не мог, так как уже внешний вид этих почв не допускал такого предположения. А так как коллоидальные растворы гидратов окиси алюминия по своим свойствам в общем сходны с золями окиси железа, было много данных за то, что и этот продукт

дили меня заняться изучением вопроса о содержании аморфной кремнекислоты в различных типах почв.

В поисках подходящего метода ее определения я остановился на кратковременной обработке почвы раствором 5%-ного едкого калия при нагревании на кипящей бане (без кипячения!). Работы этим методом, при принятых мною соотношениях между раствором и почвой и временем воздействия, с почвами, поглощающий комплекс которых был предварительно разрушен нагреванием почвы с 10%-ной соляной кислотой (остаток почвы от 10%-ной солянокислой вытяжки), показали мне, что при такой обработке наименее затрагивается щелочью силикатная часть почвы *. Различного рода обстоятельства не позволили мне до сих пор закончить эту работу полностью, но то, что у меня уже получилось, определенно показывает следующее.

Вытяжка едким калием извлекает из почвы и кремнекислоту, и алюминий (иногда в раствор переходит и железо, но в таких ничтожных количествах, что его можно вовсе не принимать во внимание). Таким образом несомненно, что реактив этот разрушает алюмосиликаты и при моем способе обработки им почв, но в общем разрушение это незначительное, и по соотношению между количествами извлеченной кремнекислоты и глинозема, соединяя их, например, в каолин (Al_2O_3 $2SiO_2$), можно судить о присутствии или отсутствии в почве аморфной кремнекислоты. Мы приведем здесь некоторые из имеющихся у нас данных.

Вот картина, получающаяся при воздействии щелочи на черноземные почвы, не солонцеватые и не деградированные (см. табл. 2).

Из нормальных черноземов наша щелочная вытяжка извлекает относительно очень мало и кремнекислоты, и глинозема; связывая их в каолин, получаем то небольшой остаток кремнекислоты, то небольшой остаток глинозема; считаясь с малой чувствительностью метода, приходится при таких числах оставить совершенно открытым вопрос о том, имеются ли в черноземах хотя бы в самых небольших количествах свободная кремнекислота или глинозем. Для решения такого вопроса необходимы совершенно иные методы.

Иная картина получается для черноземов же, но из Оренбургской губернии, тесно связанных там с солонцами. Вот данные, полученные нами для образцов из коллекции Е. Н. Ивановой (табл. 3).

распада алюмосиликатного ядра не накопляется в местах своего возникновения, а вместе с железом вымывается из солонцов вниз. Вообще золи кремнекислоты, с одной стороны, и золи полуторных окислов, с другой стороны, ведут себя во многих отношениях неодинаково. И в данном случае судьба их оказывается различной. Почему именно при осолодении образующаяся свободная кремнекислота выпадает в месте своего образования, а гидраты полуторных окислов оказываются более подвижными, я на этом вопросе здесь останавливаться не буду, так как мои соображения по этому поводу чисто теоретического характера и прочного фундамента еще не имеют; к тому же я на них уже бегло останавливался в других моих работах.

* *К. Гедройц.* Определение цеолитной кремнекислоты в почвах.— Журн. оп. агр., т. 17, 1916, стр. 400.

Таблица 2

Вытяжка 5%-ным едким калием извлекает из чернозема
(в % от веса почвы)

Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	Al_2O_3 $2SiO_2$	Остается избыток	
				SiO_2	Al_2O_3
			Чернозем Полтавской губ.		
0—20	0,534	0,320	0,698	0,156	—
45—70	0,440	0,344	0,751	0,033	—
120—150	0,424	0,376	0,783	—	0,017
			Чернозем Воронежской губ.		
0—20	0,490	0,352	0,768	0,074	—

Таблица 3

Вытяжка 5%-ным едким калием
(% от веса почвы)

№ разреза	Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	Al_2O_3 $2SiO_2$	Остается избыток	
					SiO_2	Al_2O_3
89	0—5	1,174	0,230	0,502	0,902	—
	10—15	1,076	0,266	0,570	0,762	—
	20—25	0,750	0,184	0,401	0,533	—
	40—45	0,660	0,389	0,593	0,447	—
	60—65	0,610	0,330	0,620	0,280	—
	100—105	0,770	0,270	0,589	0,451	—
160	0—5	0,900	0,266	0,580	0,586	—
	10—15	0,752	0,294	0,642	0,404	—
	20—25	0,726	0,362	0,790	0,298	—
	40—45	0,760	0,194	0,423	0,531	—
	80—85	0,490	0,286	0,624	0,152	—
	120—125	0,550	0,310	0,676	0,184	—
116	0—5	0,720	0,330	0,720	0,330	—
	10—15	0,760	0,400	0,873	0,287	—
	20—25	0,660	0,590	1,218	—	0,032
	40—45	0,490	0,552	0,905	—	0,137
	60—65	0,459	0,480	0,831	—	0,099
	100—105	0,430	0,420	0,894	—	0,056
38	0—5	0,760	0,286	0,624	0,322	—
	10—15	0,714	0,424	0,925	0,213	—
	20—25	0,556	0,236	0,515	0,277	—
	40—45	0,628	0,484	1,056	0,056	—
	60—65	0,520	0,330	0,720	0,130	—
	100—105	0,520	0,300	0,654	0,166	—

Таблица показывает, что картина, даваемая щелочной вытяжкой для черноземов солонцеватого района, уже иная, чем для несомненно несолонцеватых черноземов: всюду мы наблюдаем, кроме нижних горизонтов одного разреза, определенное преобладание кремнезема над глиноземом (если SiO_2 и Al_2O_3 щелочной вытяжки связывать по формуле Al_2O_3 $2SiO_2$); здесь уже можно говорить если не о несомненном присутствии в почвах свободной аморфной кремнекислоты, то о присутствии в легкоразлагаемой щелочью части алюмосиликатного комплекса этих черноземов силикатов, более обогащенных кремнеземом, нежели в нормальных черноземах.

Из зоны с еще более засушливым климатом с почвами определенно солонцеватого типа приведу данные для двух разрезов сероземов Семиреченской области (табл. 4). Как мы видим, и в этих почвах замечается небольшое, но совершенно ясное присутствие аморфной кремнекислоты.

Таблица 4

Вытяжка 5%-ным едким калием
(в % от веса почвы)

№ разреза	Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	Al_2O_3 $2SiO_2$	Остается избыток	
					SiO_2	Al_2O_3
1	0—10	0,514	0,090	0,196	0,418	—
	10—20	0,552	0,226	0,493	0,285	—
	20—30	0,440	0,240	0,524	0,156	—
	60—70	0,370	0,270	0,590	0,050	—
	70—80	0,554	0,330	0,720	0,164	—
	90—100	0,564	0,340	0,742	0,162	—
2	1—6	0,554	0,200	0,434	0,320	—
	6—20	0,480	0,180	0,393	0,267	—
	35—45	0,430	0,250	0,545	0,135	—
	70—100	0,504	0,330	0,720	0,114	—

Гораздо яснее та же картина проявится, если взять почвы солонцеватых районов, уже совершенно ясно осолодевшие и вместе с тем определенно сохраняющие еще признаки солонцов и тесно с ними связанные географически, так что в отношении их не может быть сомнения, что эти подзоловидные почвы произошли именно из бывших солонцеватых почв. Приведу несколько своих анализов таких солодей (табл. 5 и 6).

Все приведенные солоди и западинные подзолы бескарбонатны и, очевидно, образовались из бескарбонатных солонцов; во всех случаях верхние их горизонты, т. е. именно осолодевшие, очень сильно обогащены аморфной кремнекислотой; преобладание количества SiO_2, извлекаемой щелочной вытяжкой, над глиноземом, растворяющимся в той же вытяжке, настолько значительно, что тут уже можно почти с достоверностью утверждать, что в почве имеется аморфная кремнекислота.

Таблица 5

Вытяжка 5%-ным едким калием (в % от веса почвы)

Горизонт	SiO_2	Al_2O_3	$Al_2O_3\ 2SiO_2$	Остается избыток	
				SiO_2	Al_2O_3
1. Из солоди Тамбовской губ.					
A	2,680	0,206	0,449	2,437	—
B	0,968	0,310	0,676	0,602	—
C	1,000	0,670	1,462	0,208	—
2. Из солоди Троицкого уезда Оренбургской губ. (западина)					
A	5,808	0,156	0,340	5,624	—
B	1,176	0,428	0,934	0,670	—
3. Из солоди Воронежской губ. (западинный подзол)					
1—5	4,526	0,102	0,223	4,405	—
15—20	1,928	0,244	0,532	1,640	—
30—35	0,840	0,420	0,916	0,346	—
60—65	0,940	0,680	1,484	0,136	—
85—90	0,746	0,520	1,135	0,131	—
4. Из солоди Шадринской с.-х. фермы Пермской губ.					
12—22	3,290	0,238	0,519	3,009	—
5. Из западинного подзола среди солонцов Оренбургской губ.					
A	3,480	0,186	0,406	3,260	—
6. То же					
7—14	2,808	0,412	0,899	2,321	—
7. То же					
14—20	1,912	0,780	1,702	0,990	—
8. Из солоди Ишимского уезда (разрез и анализ Е. Н. Ивановой)					
0—5	6,466	0,078	0,160	6,393	—
5—10	2,406	0,324	0,707	2,082	—
12—17	1,636	0,494	0,988	1,142	—
40—45	1,388	1,200	2,558	—	0,030
60—65	1,196	0,702	1,532	0,366	—
110—115	1,238	0,684	1,368	0,554	—

Процесс осолодения, как мы видели, протекает чрезвычайно энергично и быстро и начинается сейчас же, как солончак переходит в солонец; естественно поэтому, что в природе очень трудно найти солонец, в той или другой мере не осолодевший уже; в некоторых случаях, когда осолодение достигло уже известной стадии, оно может проявиться посере-

Таблица 6

Вытяжка 5%-ным едким калием (в % от веса почвы)
Западинные подзолы Челябинской губ., из коллекции Е. Н. Ивановой

№ разреза	Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	$Al_2O_3\ 2SiO_2$	Остается избыток	
					SiO_2	Al_2O_3
133	0—5	6,870	0,220	0,480	6,610	—
	5—10	5,668	0,240	0,524	5,384	—
	15—20	2,260	0,120	0,262	2,118	—
	40—45	0,900	0,640	1,396	0,144	—
	60—65	0,760	0,470	1,026	0,204	—
	80—85	0,770	0,380	0,829	0,321	—
103	0—5	4,160	0,480	1,047	3,603	—
	5—10	5,900	0,580	1,266	5,204	—
	10—15	3,802	0,512	1,117	3,197	—
	20—25	0,750	0,480	1,048	0,182	—
	40—45	0,980	1,120	1,809	—	0,291
	100—105	0,720	0,476	1,039	0,157	—

нием структурных элементов (столбов, глыб и т. п.); но и отсутствие ясных морфологических признаков осолодения еще не говорит о том, что солонец не затронут уже этим процессом.

По моему мнению, уже присутствие в почве надстолбчатого горизонта, всегда менее солонцеватого, есть ясный признак частичного осолодения солонца, так как происхождение такого горизонта можно себе мыслить только как рассолонцевание (осолодение) некогда бывшего солонцеватого горизонта. Поэтому природные солонцы почти всегда должны обнаруживать химические признаки процесса осолодения, выраженные с той или другой интенсивностью и главным образом в верхнем надстолбчатом горизонте. В подтверждение этого мы приведем здесь данные (табл. 7), полученные в нашей лаборатории Е. Н. Ивановой с солонцами, собранными ею в 1923 г. на Западно-Сибирской равнине (Курганский уезд).

Разрезы 75, 23, 22 — ясно осолодевшие солонцы; разрез 18 — в столбчатом горизонте нет внешних признаков осолодения; в 3-ем горизонте появляются углесоли щелочноземельных металлов, а с 4-го горизонта легкорастворимые соли, что и защищало эту почву от осолодения; разрез 19 — торфянисто-болотная солонцеватая почва (торфянистый горизонт, 0—7 *см*, не анализировался).

Мы указывали в первой главе, что растворимые соли и углесоли кальция и магния защищают алюмосиликатный поглощающий комплекс, содержащий натрий, от разрушающего действия воды, т. е. от распада алюмосиликатного ядра на составляющие его окислы кремния, железа и алюминия; следовательно, в таких почвах, т. е. в солончаках и карбонатных солонцах, не должно быть накопления аморфной кремнекислоты.

Таблица 7

Вытяжка 5%-ным едким калием (в % от веса почвы)

№ разреза	Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	$Al_2O_3\ 2SiO_2$	Остается избыток	
					SiO_2	Al_2O_3
75	0—5	6,752	0,170	0,371	6,551	—
	5—10	6,374	0,114	0,249	6,239	—
	10—24	1,432	0,564	1,231	0,765	—
	20—27	1,304	0,534	1,165	0,673	—
	40—45	1,362	0,558	1,218	0,702	—
	100—105	1,174	0,392	0,855	0,711	—
23	0—8	5,932	0,434	0,947	5,519	—
	8—15	2,122	0,294	0,642	1,774	—
	12—23	1,468	0,566	1,235	0,799	—
	30—35	1,448	0,770	1,668	0,550	—
	70—75	1,328	0,696	1,518	0,506	—
22	0—5	5,380	0,344	0,751	4,973	—
	8—12	2,352	0,336	0,733	1,955	—
	18—32	1,430	0,790	1,724	0,496	—
	40—45	1,600	0,594	1,282	0,911	—
	65—67	1,366	0,978	1,933	0,411	—
18	0—5	2,014	0,300	0,755	1,659	—
	5—13	0,936	0,318	0,688	0,560	—
	20—25	0,900	0,422	0,921	0,401	—
	40—45	0,594	0,492	1,074	0,012	—
	60—65	1,104	0,526	1,148	0,482	—
	100—105	1,114	0,492	1,022	0,582	—
19	7—10	5,330	0,518	1,130	4,718	—
	10—15	3,704	0,714	1,658	2,860	—
	20—25	1,326	0,828	1,775	0,349	—
	40—45	1,284	0,746	1,625	0,405	—
	70—75	1,278	0,738	1,610	0,406	—

На карбонатных солонцах мы остановимся ниже, а теперь скажем несколько слов о защитном действии растворимых солей.

Мы видели, в каких громадных иногда количествах может присутствовать аморфная кремнекислота в постоянных солонцах, не возвращающихся уже в стадию солончаков. Не то должно быть в часто встречающихся в природе солонцах-солончаках, в которых верхние горизонты могут быть солонцовыми, а на некоторой глубине могут быть горизонты засоленные; очевидно, если в данный момент засоленные горизонты достаточно близки к поверхностным, то в более сухое время года соли могут подняться и к самой поверхности и дать тут вместо солонца солончак; в таких почвах верхние горизонты будут то солонцевыми, то солончаковыми; поэтому эти верхние горизонты будут частично в известные периоды года защищены присутствующими в них легкорастворимыми солями от разрушения алюмосиликатного ядра поглощающего комплекса; а потому в таких почвах накопление аморфной кремнекислоты

не может достигать при прочих равных условиях таких величин, как в постоянных солонцах.

Сказанное подтверждается анализом щелочной вытяжки из такого солонца-солончака (в момент взятия образца скопление хлоридов и сульфатов имело место с глубины 40 *см*; таким образом, тогда с поверхности до 40 *см* имелся солонец, а ниже — солончак) из Челябинского уезда, произведенным Е. Н. Ивановой (табл. 8). Таблица показывает, что

Таблица 8

Вытяжка 5%-ным едким калием (в % от веса почвы)
Солонец-солончак Челябинского уезда (Разрез № 68)

Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	$Al_2O_3\,2SiO_2$	Остается избыток	
				SiO_2	Al_2O_3
0—5	0,868	0,176	0,384	0,660	—
7—22	0,904	0,244	0,532	0,616	—
40—45	0,766	0,312	0,681	0,397	—

аморфной кремнекислоты в верхних горизонтах найдено всего около 0,5% вместо нескольких целых процентов, обнаруживаемых в постоянных солонцах.

Естественно может возникнуть вопрос о том, не являются ли большие скопления аморфной кремнекислоты, наблюдающиеся в осолодевших горизонтах бывших солонцов, результатом намыва ее сюда боковыми или грунтовыми водами; может быть, эта кремнекислота не местного происхождения, как это трактуется нами в вышеизложенном. Для подхода к этому вопросу мы остановились на образце солоди Курганского уезда («западинный подзол», разрез № 29 из коллекции Е. Н. Ивановой, 1923 г.), который по анализу Е. Н. Ивановой оказался чрезвычайно богатым аморфной кремнекислотой (табл. 9).

Таблица 9

Вытяжка 5%-ным едким калием (в % от веса почвы)

Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	$Al_2O_3\,2SiO_2$	Остается избыток	
				SiO_2	Al_2O_3
0—5	12,790	0,092	0,185	12,697	—
6—11	5,312	0,244	0,532	5,024	—
16—21	1,326	0,792	1,728	0,390	—
40—45	1,138	0,638	1,392	0,384	—
95—100	1,362	0,188	0,410	1,140	—

Для этой солоди мы произвели валовой анализ сплавлением с углекислыми щелочами тех же пяти горизонтов. Полученные данные привожу в табл. 10.

Таблица 10

Валовой состав солоди, разрез № 29

Горизонт, *см*	Потеря от прокаливания	CO_2	SiO_2	$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	CaO	MgO
В % на воздушно-сухую почву						
0—5	11,75	0	78,00	7,77	0,728	1,075
6—11	1,75	0	87,25	7,92	0,560	0,742
16—21	6,60	0	76,90	14,47	0,700	0,977
40—45	8,92	0	70,20	16,45	0,756	1,137
95—100	8,54	5,4	57,71	17,23	8,702	1,473
В % на безводную, безгумусную и бескарбонатную почву						
0—5	—	—	88,14	8,85	0,825	1,218
6—11	—	—	88,80	8,16	0,570	0,755
16—21	—	—	82,33	15,50	0,749	1,045
40—45	—	—	77,93	18,05	0,831	1,250
95—100	—	—	72,87	21,75	2,435	2,020

Уже из приведенных данных видно, что по крайней мере бо́льшая часть аморфной кремнекислоты гор. 0—5 *см* местного происхождения, так как общее содержание SiO_2 в этом горизонте то же, что и в горизонте 6—11 *см* (т. е. 88% с лишком), а между тем в верхнем горизонте аморфной SiO_2 — 12.8%, а в гор. 6—11 *см* всего 5,3%; если же сделать еще одно перечисление для валовой кремнекислоты, а именно привести содержание SiO_2 во всех горизонтах к тому содержанию суммы полуторных окислов, кальция и магния, какое имеется в гор. 6—11 *см* (т. е. к 9,48%), то содержание валовой кремнекислоты получится во всех горизонтах почти совпадающее (колебания в пределах от 87 до 89%). Таким образом, совершенно ясно, что аморфная кремнекислота солодей в главной своей массе не приносного, а местного происхождения; она выпадала в аморфное состояние в месте своего освобождения из алюмосиликатной части почвы.

Обратимся теперь к вопросу о содержании аморфной кремнекислоты в почвах, в которых разрушение алюмосиликатной части происходит в отсутствии в поглощающем комплексе поглощенного натрия, т. е. в которых имеет место подзолообразовательный процесс подзолистой зоны.

Я приведу здесь мои данные для подзолистых почв (табл. 11 и 12) Охтенского лесничества Ленинградского уезда (коллекции Е. Н. Ивано-

Таблица 11

Почвы Охтенского лесничества. Вытяжка 5%-ным едким калием (в % от веса почвы)

№ разреза	Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	$Al_2O_3 2SiO_2$	Избыток	
					SiO_2	Al_2O_3
2	5—10	1,220	1,450	2,252	—	0,418
	15—20	0,986	1,260	1,820	—	0,426
	35—40	0,880	1,560	1,624	—	0,816
	45—50	0,956	0,984	1,865	—	0,175
	95—100	0,750	0,490	1,069	0,171	—
4	15—20	1,050	2,720	1,938	—	1,882
	40—45	0,940	1,092	1,735	—	0,297
	60—65	0,690	0,610	1,274	—	0,024
	80—85	0,650	0,550	1,200	0,062	—
	100—105	0,540	0,270	0,589	0,221	—
9	10—15	0,900	1,160	1,661	—	0,399
	20—27	0,800	1,376	1,477	—	0,699
	30—35	0,850	0,820	1,569	—	0,101
	46—54	0,816	0,660	0,441	0,035	—
	72—80	0,600	0,426	0,910	0,096	—
	110—115	0,550	0,390	0,851	0,071	—

Таблица 12

Почвы Московской областной станции. Вытяжка 5%-ным едким калием (в % от веса почвы)

Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	$Al_2O_3 2SiO_2$	Избыток	
				SiO_2	Al_2O_3
0—10	0,910	0,550	1,200	0,260	—
20—25	0,776	0,680	1,432	—	0,024
25—40	0,690	0,842	1,265	—	0,267
50—60	0,864	1,164	1,595	—	0,438
60—80	0,920	0,658	—	0,142	—
100—120	0,914	0,786	1,687	—	0,013
0—21	0,820	0,780	1,514	—	0,086
21—23	0,880	0,630	—	0,135	—
33—50	0,776	0,960	1,432	—	0,244
50—75	0,850	1,136	1,331	—	0,455
96—115	0,926	1,048	1,709	—	0,265
130—150	0,796	0,720	1,469	—	0,047

вой и Б. Д. Зайцева) и Московской областной станции (коллекция проф. С. А. Захарова).

Как видно из приведенных данных, картина, даваемая щелочной вытяжкой из почв подзолистого типа почвообразования, совершенно иная, чем из почв, в которых протекает осолодение. В подзолистых почвах не только не наблюдается сколько-нибудь заметного накопления в каких-либо горизонтах аморфной кремнекислоты, но даже наоборот, в том или другом горизонте разреза 5%-ный едкий калий извлекает избыток глинозема по сравнению с тем его количеством, которое нужно, чтобы связать всю растворенную щелочью кремнекислоту по формуле каолина, т. е. в подзолистых почвах или может содержаться свободный глинозем, или часть их поглощающего комплекса, разрушаемая щелочью, относительно обогащена глиноземом, т. е. имеет обратные соотношения, нежели при процессах осолодения.

Таким образом, из химических признаков, отличающих процесс оподзоливания от процесса осолодения бескарбонатных солонцов и солонцеватых почв, поскольку нам пришлось иметь дело с этим вопросом, мы можем указать на один, а именно: преобладание в вытяжке 5%-ным едким калием в солодях и осолодевающих солонцах и солонцеватых почвах кремнекислоты над глиноземом (по сравнению с теми их количествами, какие нужны для связывания их в каолин, т. е. имеется отношение $2SiO_2 : Al_2O_3 > 1$), а в подзолистых почвах или примерно эквивалентные их количества, или даже преобладание глинозема, т. е. имеется отношение $2SiO_2 : Al_2O_3 \leqslant 1$.

Из имеющихся у нас аналитических материалов по затронутому здесь вопросу мы только в одном случае получили картину, показавшую как-будто обратное соотношение. Имею в виду мое лабораторное исследование почв заливных лугов по берегам р. Волхова, любезно предоставленных мне Л. И. Прасоловым. В нижеследуемой таблице (табл. 13) привожу эти данные *.

Как видно из этой таблицы, решительно все исследованные мною аллювиальные почвы долины р. Волхова оказались сильно обогащенными аморфной кремнекислотой, т. е. дали ту же картину, что солоди и осолодевшие солонцы, и резко различную от картины, получавшейся для всех остальных исследовавшихся нами подзолистых почв. Была, очевидно, в генезисе почв заливных лугов бассейна Волхова какая-то общая причина, вызвавшая такое направление почвообразования здесь, при котором шло обогащение почв аморфной кремнекислотой. Нам не пришлось ближе заняться выяснением этого явления, но на основании всей совокупности наших исследований, относящихся к разрушению почвенного поглощающего комплекса, мы с достаточной уверенностью высказываем здесь мысль, что было некогда время, когда почвы долины р. Волхова, подобно почвам днепровского ледникового языка и по аналогичным при-

* Эти данные вместе с составом поглощающего комплекса и валовым анализом напечатаны в статье Л. И. Прасолова «Почвы заливных лугов по берегам р. Волхова и оз. Ильменя». Материалы по исслед. р. Волхова и его бассейна. Л. 1925.

Таблица 13

Почвы заливных лугов по берегам р. Волхова. Вытяжка 5%-ным едким калием
(в % от веса почвы)

№ разреза	Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	$Al_2O_3\ 2SiO_2$	Избыток	
					SiO_2	Al_2O_3
40	0—10	3,53	0,38	0,83	3,08	—
	20—30	2,28	0,60	1,31	1,57	—
	92—100	1,43	0,56	1,22	0,77	—
53	0—10	3,82	0,46	1,00	3,28	—
	20—29	3,57	0,58	1,17	2,88	—
	39—50	1,80	0,43	0,94	1,29	—
	50—60	0,80	0,31	0,68	0,43	—
	80—90	0,53	0,29	0,63	0,19	—
	112—127	0,50	0,28	0,61	0,17	—
50	0—10	3,97	0,59	1,39	3,27	—
	11—20	2,20	0,68	1,48	1,40	—
	20—30	1,53	0,61	1,33	0,81	—
	30—40	1,07	0,43	0,94	0,56	—
	40—50	0,84	0,42	0,92	0,34	—
	80—90	0,54	0,37	0,81	0,10	—
	120—130	0,41	0,26	0,57	0,10	—
	152—160	0,50	0,26	0,57	0,19	—
	200—205	0,47	0,22	0,48	0,21	—
58	0—10	3,98	0,50	1,09	3,39	—
	10—20	5,68	0,60	1,31	4,97	—
	40—50	2,52	0,84	1,83	1,53	—
	55—65	2,28	0,71	1,55	1,44	—

чинам были засолены натриевыми солями, затем дали солонцы, в результате осолодения которых мы и имеем современные пойменные почвы р. Волхова, т. е. солоди.

Засоление здесь должно было происходить при непосредственном участии натриевых солей, как продуктов местного почвообразования. Очень интересно отметить, что имеющееся для одной из рассматриваемых почв (№ 53) валовое определение калия и натрия показывает чрезвычайную бедность этой почвы натрием: при нормальном (даже несколько повышенном) содержании калия (в различных горизонтах это содержание колеблется в пределах от 2,17 до 3,02%) валового натрия имеется всего от 0,37 до 0,55% от веса сухой почвы. Это обстоятельство служит существенным подтверждением высказанного мною предположения о генезисе этих почв из солонцов: те количества натрия, которые исчезли из этих почв в процессе почвообразования, и давали растворимые натронные соли, засолявшие когда-то эти почвы; часть натрия этих солей вступила в поглощающий почвенный комплекс, а затем и она была удалена из почвы при осолодении.

ОСОЛОДЕНИЕ КАРБОНАТНЫХ СОЛОНЦОВ

Мы видели, что при действии воды на естественные карбонатные солонцы и на искусственно приготовленные почвы, насыщенные натрием и смешанные с углекислым кальцием, почти не происходит разрушения алюмосиликатной части почвы; количества кремнекислоты и полуторных окислов, извлекаемых водою в этих случаях, почти те же, что и из почв несолонцеватых. Ясно, что в этом случае не может быть речи о накоплении в таких солонцах после их полного рассолонцевания сколько-нибудь заметных количеств аморфной кремнекислоты. Этот признак, служащий для отличия солодей от подзолистых почв в том случае, когда эти солоди произошли из бескарбонатных почв, не может применяться в отношении солодей, возникших из карбонатных солонцов и солонцеватых почв; поэтому отсутствие этого признака (отсутствие накопления аморфной кремнекислоты по данным 5%-ной щелочной вытяжки) не может служить доказательством того, что данная почва не была раньше солонцеватой, раз есть основание допускать ее карбонатность с самой поверхности.

Почвы южной части днепровского ледникового языка. Как раз такой случай мы имеем в области днепровского ледникового языка. В районе Носовской опытной станции и на юг от него до южной границы этой области, а может быть частью и на север от этого района, все встречающиеся там солонцы и солонцеватые почвы всегда вскипают с самой поверхности почвы; это все карбонатные почвы. На основании широкого распространения солонцов и солонцеватых почв во всей области днепровского языка и характера их распределения среди нынешних несолонцеватых почв этой области приходится сделать два вполне естественных предположения, а именно: во-первых, что бывшее некогда засоление этих солонцеватых пятен не могло не коснуться в той или другой мере и рядом лежащих, окружающих эти солонцеватые пятна почв; о степени бывшей засоленности этих почв можно сейчас, конечно, только гадать, но нам кажется, что скорее требует особых доказательств допущение, что эти почвы почему-то избегли всякого засоления, нежели обратное предположение; во-вторых, что в числе солей, засолявших эти сейчас несолонцеватые почвы днепровского ледникового языка, были и карбонаты щелочноземельных металлов. Как следствие этих двух допущений вытекает то, что *нынешние несолонцеватые почвы днепровского ледникового языка следует рассматривать как рассолонцевавшиеся, осолодевшие карбонатные солонцеватые почвы* *.

Как мы видели, щелочная вытяжка с определением в ней кремне-

---

* Отмечу интересный факт, еще более обосновывающий мое положение о генезисе черноземных почв днепровского ледникового языка: производящееся в настоящее время у меня в почвенной лаборатории Ленинградского лесного института А. Д. Попковым химическое исследование почв Макиевского опытного поля показывает, что все взятые им 8 образцов почв с повышенной части поля, считавшейся несолонцеватой, оказываются слабо солонцеватыми черноземами.

кислоты глинозема в этом случае не может быть использована для окончательного решения этого вопроса. И действительно, послойное определение этих веществ в щелочной вытяжке одного разреза почвы с поля Носовской станции, произведенное В. Г. и Ф. Н. Германовыми (см. отчет Агрохимического отдела Носовской станции за 1922—23 гг., стр. 31), подтвердили это. Ни в одном слое накопления аморфной кремнекислоты не констатировано.

Объективных признаков для отличия солодей, происшедших из карбонатных солонцов и солонцеватых почв, мы, таким образом, еще не имеем. Пока для каждого частного случая приходиться пользоваться косвенными указаниями.

Для почв днепровского ледникового языка, кроме указанной выше географической связи их с солонцами, при каковой очень трудно допустить, чтобы нынешние несолонцеватые почвы этой области могли бы избегнуть бывшего когда-то тут засоления, укажем на следующее.

Почвы эти по мощности гумусового горизонта и по послойному распределению гумуса в них несомненно почвы черноземного типа почвообразования, а вместе с тем по малому содержанию гумуса (в пахотном горизонте оно в почвах района Носовской станции лишь около 3,5%) они являются исключительно бедными. Можно, конечно, допустить, что они когда-то покрылись лесом, который несмотря на малое годовое количество атмосферных осадков (около 460 *мм*) деградировал их и притом в довольно сильной степени. Но вот таких признаков деградации мы почти и не наблюдаем в этих почвах. По данным имеющихся валовых анализов (Ф. П. Саваренский. Почвенный покров Носовского оп. поля.— Труды Носовской с.-х. оп. ст., вып. 32, 1924) в толще до 185 *см* не только не наблюдается в каком-либо горизонте скопления полуторных окислов, но обратно, количество их книзу даже несколько убывает. Если же допустить, что эти почвы были когда-то солонцеватыми и вместе с тем карбонатными с самой поверхности, то при их осолодении как раз и должно было происходить обеднение гумусом, без заметного разрушения алюмосиликатной части поглощающего комплекса.

Непонятно также, почему, если эти почвы были лесными, так ничтожна подвижность азотистых соединений их гумуса, тогда как вообще эти соединения в лесных почвах обладают по сравнению с нормальными черноземами высокой подвижностью. Если же эти почвы происходят из солонцеватых, то и эта их особенность становится понятной: азотистые органические соединения этих почв малоподвижны потому, что подвижная часть этих соединений выщелочена из почвы при осолодении.

Для того чтобы подойти к вопросу о химических свойствах солодей, получившихся путем рассолонцевания карбонатных солонцов, нами начато исследование с образцами почв Макиевского опытного поля, взятыми А. Д. Попковым осенью 1925 г. План нашего исследования таков: рассолонцевать искусственно в лабораторной обстановке солонцы Макиевского опытного поля и полученные таким образом солоди подвергнуть химическому исследованию.

С этой целью мы остановились на четырех почвенных разрезах: разр. № 43, злостный солонец (гор. 3—15, 15—30, 30—45, 45—62, 62—80, 80—100 *см*); разр. № 42, сильносолонцеватая почва (гор. 0—18, 18—33, 33—53, 53—70, 70—94, 94—114, 114—131, 131—140 *см*); разр. № 5, слабосолонцеватая почва (гор. 0—18 и 18—40 *см*); разр. № 34 с повышенной, несолонцовой части опытного поля, гор. 0—22 *см*. Означенные образцы у нас промываются водой и после полного рассолонцевания будут подвергнуты химическому исследованию.

В настоящее время я могу поделиться только результатами исследования промывных вод. Промывание велось на воронках, куда помещались навески или по 10, или по 200 *г*; на воронку каждый раз приливалось небольшое количество воды, после того, как вода предшествующей приливки успевала вся профильтроваться; промывные воды собирались последовательно порциями или по 500 *см*^{3}, или по 1 *л*; определенная часть порции шла на исследование реакции и растворимого гумуса, а остальная часть выпаривалась; после того как в общей сложности 10-граммные навески были промыты 3 *л* воды, а 200-граммные 4 *л* воды, производился анализ полученных сухих остатков.

Остановлюсь прежде всего на злостном солонце. В табл. 14 привожу его послойный валовой анализ, а в табл. 15 данные валового содержания кремнекислоты, окиси алюминия и окиси железа, перечисленные на безводную, безгумусную и бескарбонатную почву. В табл. 16 для характеристики степени солонцеватости приводится анализ водной вытяжки.

Приведенные данные показывают, что исследовавшийся образец злостного солонца Макиевского опытного поля уже подвергся, как и нужно было ожидать, некоторому осолодению и что это осолодение сопровождается некоторым, хотя и очень незначительным разрушением алюмосиликатной части, с признаками обеднения верхних горизонтов полутор-

Таблица 14

Валовой состав макиевского злостного солонца (разр. № 52).
Анализ принадлежит И. И. Боловахно

Глубина образца, *см*	Гигроскопическая вода, %	В 100 частях сухой почвы содержится [частей]									
		потеря от прокаливания	гумус	CO_2	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
3—15	1,74	6,79	2,22	4,38	73,50	6,08	1,52	6,36	2,50	2,02	1,64
15—30	1,73	3,90	1,01	6,67	69,14	6,59	1,97	8,06	2,41	—	—
30—45	1,43	3,90	1,34	9,17	65,30	5,63	1,97	9,47	3,33	1,93	1,53
45—62	1,44	2,28	0,59	9,15	65,85	6,72	1,88	9,32	3,26	—	—
62—80	1,33	2,11	0,61	8,59	67,90	6,48	1,95	8,03	2,75	—	—
80—100	1,01	1,50	0,15	5,81	74,29	6,48	1,77	6,39	2,76	1,99	1,38

Таблица 15

Содержание кремнекислоты и полуторных окислов в злостном солонце, на безводную, безгумусную и бескарбонатную почву

Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
3—15	85,53	7,07	1,78	45—62	83,60	8,53	2,39
15—30	83,19	7,93	2,37	62—80	83,62	7,98	2,39
30—45	82,65	8,39	2,49	80—100	85,15	7,41	2,02

Таблица 16

Анализ водной вытяжки из злостного солонца Макиевского опытного поля *, (% от веса воздушно-сухой почвы)

Горизонт, *см*	Водорастворимый гумус	Щелочность				SO_3	Cl
		общая в HCO_3	нормальн. карбонаты в CO_3	щелочные карбонаты в HCO_3	щелочно-земельные карбонаты в HCO_3		
3—15	0,0112	0,537	0,096	0,512	0,024	0	0,011
15—30	0,0098	0,473	0,048	0,459	0,016	0	0,019
30—45	0,0028	0,264	0,034	0,252	0,012	0	0,003
45—62	0,0035	0,122	0,017	0,102	0,020	0	0,003
62—80	0,0028	0,094	0,012	0,088	0,006	0	0,003
80—100	0,0028	0,076	0,006	0,071	0,005	0	0,003

* Анализ произведен А. Д. Попковым.

ными окислами и с очень слабовыраженным накоплением полуторных окислов примерно на глубине 30—60 *см*. Точность данных валового анализа, а главное, условность вычисления количества в почве углекислого кальция и магния таковы, что более детальных заключений из приведенных данных сделать нельзя.

В табл. 17 мы приводим количества веществ, извлеченных из 10 *г* различных слоев того же солонца тремя литрами воды при промывании навески на фильтре, перечисленные на 100 *г* почвы.

Приведенные данные показывают, что применявшееся количество промывающей воды извлекало из всех горизонтов злостного солонца очень большое количество минеральных веществ, но эти минеральные вещества состояли почти исключительно из углесолей кальция, магния и натрия (последняя как результат обмена поглощенного натрия на кальций и

Таблица 17

Водная вытяжка, (в % от веса возд.-сухой почвы)

Горизонт, *см*	Сухой остаток		SiO_2	$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	CaO	MgO	Na_2O
	просушенный	прокаленный					
3—15	4,450	3,517	0,200	0,037	1,138	0,320	0,690
15—30	3,335	2,500	0,117	0,025	0,744	0,287	0,618
30—45	2,116	1,675	0,075	0,036	0,537	0,241	0,320
45—62	2,117	1,625	0,060	0,020	0,614	0,285	0,312
62—80	2,065	1,640	0,065	0,025	0,572	0,256	0,341
80—100	1,815	1,340	0,060	0,020	0,570	0,211	0,136

магний углесолей); кремнекислоты же и полуторных окислов из почвы извлечено было сравнительно очень мало.

Таким образом, в условиях нашего опыта разрушение алюмосиликатной части шло во всех горизонтах солонца (в гумусных более сильно, в безгумусных слабее), но шло чрезвычайно медленно, несмотря на громадное количество промывавшей воды; подсчет показывает, что для того, чтобы в природных условиях таким же количеством воды (на единицу веса почвы) промылся верхний слой почвы в 10 *см* мощности, необходим столб жидкости около 46 000 *мм* высотою; если допустить, что выпадающие в Макиевске атмосферные осадки вовсе не испаряются, а целиком просачиваются через почву, то на такое промывание почвы понадобиться около 100 лет! Естественно поэтому, что в исследовавшемся солонце алюмосиликатная часть почвы, как мы видели из данных валового анализа, хотя и разрушена отчасти, но чрезвычайно слабо; на основании полученных данных можно утверждать, что и при полном осолодении этого солонца в получившейся солоди алюмосиликатная часть окажется сравнительно мало затронутой воздействием воды, если, конечно, процесс осолодения закончится раньше полного выщелачивания из солонцеватых горизонтов углесолей кальция и магния. В рассматриваемом образце солонца так это, конечно, и будет иметь место: содержание в нем этих углесолей настолько велико, что полное вытеснение поглощенного натрия должно произойти значительно раньше, чем может быть удален из почвы весь имеющийся в ней запас углесолей, что и подтверждается анализом промывающих солонец вод.

Совершенно иное отношение к воде показала в этом исследовании органическая часть поглощающего комплекса. Первые порции промывающей воды извлекали из гумусного слоя солонца очень большие количества гумуса, а именно первыми 100 *см*^{3} воды было выщелочено 0,2% гумуса; следующие же порции воды извлекали уже значительно меньше; получаемые цифры приближались к цифрам для несолонцеватых почв.

Таблица 18

Водная вытяжка (в % от веса взодушно-сухой почвы)

Почва	Горизонт, *см*	Сухой остаток просушенный	Сухой остаток прокаленный	SiO_2	Fe_2O_3 + + Al_2O_3	CaO	MgO
Разр. 44, сильносолонцеватая	0—18	2,623	1,428	0,135	0,026	0,495	0,643
	18—33	2,305	1,337	0,118	0,019	0,376	0,441
	33—53	1,995	1,130	0,206	0,012	0,345	0,363
	53—70	2,275	1,505	0,293	0,019	0,527	0,373
	70—94	1,975	1,395	0,075	0,015	0,557	0,240
	94—114	1,900	1,630	0,081	0,012	0,648	0,249
	114—131	1,781	1,288	0,075	0,015	0,502	0,226
	131—140	1,665	1,242	0,075	0,025	0,498	0,185
Разр. 5, слабосолонцеватая	0—18	2,490	1,270	0,145	0,012	0,364	0,510
	18—40	2,037	1,087	0,113	0,012	0,338	0,398

Обе почвы карбонатны с самой поверхности. Содержание гумуса и углекислоты в них следующее *:

Слой, *см*	0—18	18—33	33—53	53—70	70—94	94—114	114—131	131—150
Гумус	4,66	3,25	1,02	0,66	0,40	0,19	0,17	0,17
CO_2	1,86	4,00	5,96	7,30	5,90	5,58	6,21	5,90
Слой, *см*	0—18	18—40						
Гумус	5,53	1,22						
CO_2	2,51	7,58						

* Анализ принадлежит А. Д. Попкову.

Обращаюсь теперь к полученным нами результатам выщелачивания сильно- и слабосолонцеватых почв Макиевского опытного поля. В табл. 18 приводятся данные анализа промывных вод, получившихся при промывании на воронках 10 *г* почвы (общее количество собранного фильтрата для каждой навески — 3 *л*) по перечислению их на 100 *г* почвы.

Валовых анализов этих именно образцов солонцеватых почв мы не имеем, но в нашем распоряжении имеются таковые для ряда почв Макиевского опытного поля (пониженной, солонцеватой части его) разной степени солонцеватости в зависимости от микрорельефа, произведенные у меня в лаборатории Н. М. Михайловым и А. Д. Попковым. Мы приведем здесь аналитические данные для двух разрезов, наиболее солонцеватого, с бугра (разрез № 7, анализы А. Д. Попкова) и наименее солонцеватого, с западины (разрез № 3, анализы Н. М. Михайлова), а именно: валовой состав (табл. 19); валовое содержание SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 по перечислению на безводную, безгумусную и бескарбонатную почву (табл. 20), данные водной вытяжки (табл. 21) и содержание поглощенного натрия (табл. 22).

Из приведенных данных мы видим, что по валовому содержанию SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 солонцеватые почвы в общем очень близки к

Таблица 19

Валовой состав солонцеватых почв Макиевского опытного поля
(в % от веса сухой почвы)

№ разреза	Горизонт, *см*	Гигроскопическая вода	Потери от прокаливания	Гумус	CO_2	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
7	0—10	2,85	8,13	4,15	1,67	74,45	6,92	1,78	2,80	2,06	2,06	1,16
	10—20	2,72	7,97	3,80	1,74	74,38	6,72	1,87	2,76	2,04	5,50 *	
	100—110	1,16	2,69	0,57	5,55	72,33	5,74	2,10	6,00	2,17	2,02	1,07
3	0—10	3,97	8,94	—	0,34	75,17	7,74	2,07	1,96	2,79	5,20 *	
	10—20	3,76	8,52	—	0,18	75,78	6,93	2,16	1,64	3,09	4,50 *	
	100—110	1,18	2,19	—	0	83,20	6,59	2,32	0,79	2,06	4,64 *	

* Сумма калия и натрия в виде хлоридов.

Таблица 20

Валовое содержание кремнекислоты и полуторных окислов
(% на безводную, безгумусную и бескарбонатную почву)

№ разреза	Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	№ разреза	Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
7	0—10	84,31	7,83	2,02	3	0—10	83,25	8,57	2,29
	10—20	84,52	7,65	2,13		10—20	83,26	7,61	2,37
	100—110	85,39	6,75	2,48		100—110	84,51	6,74	2,37

Таблица 21

Анализ водной вытяжки (1 : 5) солонцеватых почв Макиевского опытного поля
(в % на воздушно-сухую почву)

№ разреза	Горизонт, *см*	Сухой остаток		Воднорастворимое орган. в-во	Щелочность				CaO	SO_3	Cl
		просушенный	прокаленный		общая в HCO_3	норм. карбонатов в CO_3	щелочн. карбонатов в HCO_3	щелочноземельн. карбонатов в HCO_3			
7	0—10	0,201	0,104	0,083	0,110	0	0,093	0,017	0,007	0,003	0
	10—20	0,231	0,118	0,077	0,115	0	0,102	0,012	0,008	0,004	0
	100—110	0,055	0,029	0,014	0,049	0	0,042	0,007	0,006	0,004	0
3	0—10	0,109	0,040	0,059	0,049	0	0,039	0,010	0,016	0	0
	10—20	0,089	0,031	0,057	0,037	0	0,027	0,011	0,013	0	0
	100—110	0,048	0,023	0,017	0,027	0	0,013	0,013	0,011	0	0

Таблица 22

Поглощенные щелочные катионы в солонцеватых почвах Макиевского опытного поля *
(в % на воздушно-сухую почву)

Горизонт, *см*	Разрез № 7			Разрез № 3		
	KCl + NaCl	K_2O	Na_2O	KCl + NaCl	K_2O	Na_2O
0—10	0,240	—	—	0,072	0,023	0,018
10—20	0,290	0,036	0,123	0,016	—	—
100—110	0,128	—	—	0,012	—	—

* Солянокислый метод.

солонцам; это опять-таки подтверждает наш общий вывод о слабом разрушении минерального поглощающего комплекса в карбонатных солонцеватых почвах; но все-таки сравнение всех данных показывает, что чем больше солонцеватость почв, тем сравнительно сильнее и в случае карбонатных солонцов идет это разрушение. Что касается гуматной части поглощающего комплекса, то зависимость степени ее разрушаемости от степени солонцеватости из приведенных данных выступает совершенно ясно; так, в верхнем горизонте злостный солонец содержит 2,22% гумуса, сильносолонцеватая почва 4,66%, а слабосолонцеватая 5,53%; конечно, явление это надо поставить также в зависимость от той естественной растительности, которая произрастала на этих почвах; к сожалению, фактор этот не поддается учету.

Из данных содержания углекислоты в исследованных солонцах видно, что содержание углесолей в верхних горизонтах макиевских почв изменяется параллельно со степенью солонцеватости: чем выше последняя, тем более карбонатны почвы; это указывает на тесную связь между бывшим некогда засолением этих почв растворимыми солями натрия и углесолями кальция и магния.

Наконец, сравнительное содержание полуторных окислов в почвах Макиевского опытного поля разной степени солонцеватости в зависимости от рельефа дает, по-видимому, основание заключить, что разная степень солонцеватости почв в этих частях микрорельефа в первую очередь обязана разной степени засоленности в прежнее время, а не различной степени их рассолонцевания; если последняя причина играла здесь известную роль, то во всяком случае лишь второстепенную.

Для сравнения результата действия воды на карбонатные солонцеватые почвы и на нормальные черноземы мы производили подобное вышеописанному выщелачивание на воронке 10 *г* чернозема с повышенной части Макиевского опытного поля (разр. № 34), считающейся несолонцеватой. Выбор оказался неудачным, так как произведенные затем А. Д. Попковым водные вытяжки показали, что все взятые в этой части

опытного поля образцы (в девяти местах, только верхний слой 0—20 *см*) в том или другом количестве содержат щелочные карбонаты (щелочность вытяжки после выпаривания); так, в разрезе № 32 общая щелочность — 0,0695, щелочность от щелочных карбонатов — 0,0595 (и то и другое в виде HCO_3); в разрезе № 33 соответственно 0,0475 и 0,0366; в разрезе № 34 — 0,0414 и 0,0390; в разрезе № 35 — 0,219 и 0,0183; в разрезе № 36 — 0,0122 и 0,0098; в разрезе № 37 — 0,0183 и 0,0153; в разрезе № 38 — 0,0195 и 0,0158; в разрезе № 39 — 0,0195 и 0,0146; в разрезе № 40 — 0,0244 и 0,0207; в разрезе № 41 — 0,0183 и 0,0134.

Анализ собранных при промывании почвы № 34 трех литров дал следующее: сухой остаток — просушенный 1,25%, прокаленный 0,763%; SiO_2 – 0,163%; $Al_2O_3+Fe_2O_3$ – 0,025%; CaO – 0,257%; MgO – 0,66%; Na_2O — 0,082%.

Как видим, в отношении кремнекислоты и полуторных окислов, выщелачиваемых водою, этот образец почвы существенно не отличается от вышеприведенных почвенных разрезов; существенное различие лишь в величине сухих остатков и содержании кальция и магния, что обусловлено бескарбонатностью исследовавшегося образца. Почему разрушаемость алюмосиликатной части поглощающего комплекса оказалась в данном случае примерно такой же (даже как будто более сильной), как и в ранее приведенных солонцеватых почвах, потому ли, что и эта почва также солонцевата, хотя и слабее предшествующих, но зато бескарбонатна, или потому, что и нормальные черноземы *в отсутствии подымающихся снизу карбонатов* мало отличаются от солонцеватых почв в рассматриваемом отношении,— наши данные ответа не дают.

Почвы северной части днепровского ледникового языка. В северной части этой области, в районе Чемерского опытного поля, мы встречаем уже почвы подзолообразного вида. Вместе с тем и здесь, как видно из почвенной карты 1904 г., составленной проф. Б. Б. Полыновым и К. Белоусовым, широко распространены солонцы, солонцеватые почвы и заболоченные почвы; последние мы считаем также тесно связанными с солонцами; причина застаивания воды лежит тут в солонцеватости почвы, обусловливающей трудную ее водопроницаемость. Каким образом могли произойти в этом районе подзоловидные почвы? Обычное объяснение этого явления — надвигание леса на степень и деградация бывших черноземов, нас удовлетворить совершенно не может.

При самом беглом осмотре почв Чемерского опытного поля летом 1925 г. мне пришлось видеть там почвы так сильно оподзоленные, как не часто можно встретить и в подзолистой зоне, а между тем в районе Чемерского опытного поля считается всего около 460 *мм* атосферных осадков; и тут же почти рядом с таким подзолом (см. в табл. 23 и 24 разрез 3) в расстоянии с полверсты находится ясно солонцеватая почва (см. разрез 5). В этом разрезе найдено $NaHCO_3$: в гор. A_1(0—23 *см*) — 0,020%, в гор. A_2(23—59 *см*) — 0,013%; это уже заметные количества соды, так что эта почва несомненно солонцеватая, на что указывает и состояние крестьянских посевов.

Те же соображения, какие мы привели для черноземовидных почв области днепровского ледникового языка, усиленные еще для чемерских почв фактом чрезвычайно сильной разрушенности их алюмосиликатной части поглощающего комплекса,— разрушенности, совершенно не соответствующей степени увлажнения этих почв,— заставляют нас считать, что и эти подзоловидные теперь не солонцеватые почвы северной части днепровского ледникового языка связаны с солонцами этого района не только географически, но и генетически. Это также осолодевшие солонцеватые почвы — солоди.

Для четырех почвенных разрезов, сделанных нами в 1925 г. на Чемерском опытном поле (частью на соседних крестьянских землях), мы имеем данные вытяжки 5%-ным едким калием (табл. 23).

Таблица 23

Вытяжка 5%-ным едким калием
(в % на воздушно-сухую почву)

№ разреза	Горизонт, *см*	SiO_2	Al_2O_3	$Al_2O_3\ 2SiO_2$	Остается избыток	
					SiO_2	Al_2O_3
1	10—15	0,600	0,286	0,624	0,262	—
	34—40	0,592	0,384	0,838	0,138	—
	105—110	0,534	0,500	0,996	—	0,038
2	19—24	1,090	0,580	1,266	0,404	—
	30—35	0,734	0,470	1,026	0,178	—
	48—53	0,876	1,150	1,621	—	0,405
	175—180	0,612	0,400	0,933	0,139	—
3	25—31	1,006	0,426	0,930	0,502	—
	35—40	0,880	1,514	1,624	—	0,767
	160—180	0,770	0,740	—	1,420	0,089
5	0—13	1,110	0,350	0,764	0,696	—
	49—54	0,590	0,620	1,090	—	0,120

Приведенная таблица не дает такой яркой картины накопления аморфной кремнекислоты, какая получается из ранее приведенных таблиц для солодей и осолодевающих солонцов юго-востока России; но если сравнить данные ее с данными для солонцеватых черноземов (табл. 3) и семиреченских почв (табл. 4), с одной стороны, и подзолистых почв Ленинградской губ. (табл. 11) и Московской губ. (табл. 12), с другой стороны, то совершенно будет ясно, что по данным кремнекислоты и глинозема, извлекаемых из почвы 5%-ным едким калием, исследовавшиеся почвы Чемерского опытного поля примыкают к первым, т. е. к осолодевшим солонцеватым черноземам и почвам засушливой, солонцеватой зоны, но не к почвам подзолистой зоны.

Почему накопление аморфной кремнекислоты в исследовавшихся че-

мерских почвах сравнительно слабо выражено,— это вопрос особый. С чемерскими почвами мы начали работать только теперь; необходимо более подробное полевое обследование этих почв и лабораторная разработка собранных материалов, а также, что самое главное, дальнейшая научная разработка вопросов, связанных с осолодением карбонатных солонцов, с целью изучения этого процесса и установления объективных признаков получающихся при этом процессе почвенных образований.

Возможно, что причиной слабого накопления аморфной кремнекислоты в подзоловидных почвах Чемерского опытного поля была относительно слабая их солонцеватость; затем возможно, что и эти солонцеватые почвы днепровского ледникового языка в периоде их солонцеватости были более карбонатны, нежели теперь, в отношении высоты горизонта вскипания; нужно иметь в виду, что вследствие существенного различия условий увлажнения между юго-востоком и юго-западом России, при той же глубине горизонта вскипания, например, до 60 *см*, верхние горизонты почв юго-запада будут совершенно защищены подымающимся к ним с почвенной влагой углекислым кальцием от разрушения алюмосиликатной части поглощающего их комплекса (т. е. от накопления аморфной кремнекислоты), тогда как в почвах юго-востока углекислый кальций из карбонатных горизонтов вследствие неглубокого промокания почвы вовсе не будет присутствовать в почвенном растворе поверхностных горизонтов почвы.

В тех же четырех разрезах чемерских почв была определена реакция водной вытяжки. Полученные данные приводим в табл. 24.

Таблица 24

Реакция водной вытяжки

№ разреза	Горизонт, *см*	Титровальная кислотность	Титровальная щелочность *	pH (калориметрически)
		в *см*³ 0,02 н. щелочи или кислоты на 100 *г* почвы		
1	10—15	—	24,0	8,2
	35—40	—	16,0	8,2
	105—110	—	26,0	8,0
2	19—24	2,0	1,0	6,5
	30—35	—	9,0	7,8
	48—53	—	13,0	7,6
	175—180	—	23,0	8,4
3	25—31	2,0	1,0	6,9
	35—40	2,0	3,0	6,8
	160—180	—	13,0	8,2
5	0—13	—	19,0	7,8
	49—54	—	18,0	8,4

* Титрование в присутствии метилоранжа. Оба горизонта разреза 5 с фенолфталеином давали слабо-розовую окраску.

Мы видим, что исследовавшиеся образцы почти все имеют щелочную реакцию; кислая реакция некоторых из них очень слабая. Это явление также не говорит в пользу допущения подзолообразовательного процесса в этих почвах и, наоборот, вполне объясняется допущением происхождения этих почв процессом осолодения.

Собранные нами летом 1925 г. образцы некоторых почв Чемерского опытного поля находятся сейчас в аналитической разработке; быть может, полученные результаты дадут возможность объективнее установить генезис почв этого района.

Ленинград, Лесной институт
Февраль 1926 г.

К ВОПРОСУ О ПОЧВЕННОЙ СТРУКТУРЕ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ЕЕ ЗНАЧЕНИИ [1]

Почва представляет собою трехфазную систему, состоящую из твердой, жидкой и газообразной фаз. Познать почву означает познать эти три фазы в отдельности и в их совокупном взаимоотношении, изучить статику и динамику этой системы.

Почвоведение еще очень далеко не только от того состояния, при котором мы могли бы говорить о познании нами существующего многообразия почвенных образований; оно еще не обладает даже необходимыми методами для подобного изучения данной почвы. К целому ряду вопросов, связанных со статикой и динамикой почвенной системы, мы не можем даже приступать за неимением каких-либо намеков на методику исследования. Более или менее полное изучение почвы поэтому является делом еще далекого будущего, тесно связанным с развитием наук, соприкасающихся с почвоведением.

Из отдельных фаз почвенного образования наиболее изученной является твердая фаза; жидкая и газообразная фазы почвы изучены значительно слабее, а между тем как раз именно эти две фазы почвенной системы и оказывают непосредственное влияние на рост растений; отсюда понятны громадное практическое значение изучения этих фаз и тот интерес, который уже издавна проявляли агрикультурфизики, агрикультурхимики и почвоведы к вопросам, связанным с почвенным раствором и почвенным воздухом, и к методике исследования в этой области.

Если полученные до сих пор результаты этих исследований и состояние методики оставляют желать еще многого, то это объясняется чрезвычайной сложностью самого явления и специфическими особенностями этих двух фаз; достаточно указать на то, что хотя все фазы почвенной системы являются изменчивыми во времени, но темп изменения жидкой и газообразной фаз несравненно более быстр, нежели твердой фазы почвы. Само собой понятно, что такая неустойчивость качественного и количественного состава и общей величины каждой из этих двух фаз очень сильно затрудняет их изучение.

Есть еще одно обстоятельство, являющееся причиной малой изученности почвенной влаги и почвенного воздуха: все три почвенные фазы находятся между собою в очень сложном взаимоотношении, и количество

---

[1] Воспроизводится по статье, напечатанной в Известиях Гос. ин-та опытной агрономии, т. IV, № 3, 1926.

и состав как жидкой, так и газообразной фазы, влияя на твердую часть почвы, в сильной степени в свою очередь зависят от свойств этой части почвы; но твердая фаза почвы хотя и изучена уже полнее, нежели остальные две, но все-таки еще недостаточно полно, и исследование почвенной влаги и почвенного воздуха сплошь и рядом наталкивается на препятствия с этой стороны.

К числу таких свойств твердой фазы почвы, которые, с одной стороны, еще слабо изучены, но, с другой стороны, влияют на свойства двух других почвенных фаз, относится так называемая структурность почвы. Это свойство почвы оказывает громаднейшее влияние на водный и воздушный режим, а этим и на все те стороны жизни почвы, которые связаны с этими режимами, и в конце концов на те два главных агрономических свойств почвы, как культурной среды для развития растений, от которых зависит урожайность почвы, т. е. на плодородие почвы и ее санитарные свойства. Конечно, связь воздушного и водного режимов почвы с ее структурностью не одностороняя; как и вообще в почвенной системе, связь здесь взаимная: водный и воздушный режимы не только зависят от структурности почвы, но и сами в свою очередь, как мы увидим ниже, влияют на структурность твердой фазы почвы.

Цель нашей заметки коснуться в самых общих чертах, не входя в какие-либо детали, вопросов о происхождении почвенной структуры и значении ее для водного и воздушного режимов. В своих исследованиях поглощающего почвенного комплекса мне приходилось соприкасаться с этими вопросами; с ними же, уже более с практической точки зрения, мне пришлось иметь дело в последние годы в работах руководимого мною агрохимического отдела Носовской сельскохозяйственной опытной станции (Черниговская губерния). Литературы вопроса я здесь касаться не могу и буду трактовать вопрос о структурности почвы на основании главным образом общих положений почвоведения и коллоидной химии, своих исследований и работ Носовской станции.

Прежде всего условлюсь относительно терминологии. Твердая фаза почвы есть тело сыпучее, и как таковое оно состоит или из отдельных, самостоятельных, индивидуальных твердых частиц (кристалликов или обломков кристалликов), так называемых механических элементов, или же из агрегатов, комплексов этих механических элементов, склеенных между собою с большей или меньшей прочностью, так называемых структурных элементов или структурных отдельностей. Таким образом, под структурностью понимается свойство твердой фазы почвы давать из механических ее элементов структурные отдельности.

Необходимо указать, что понятие «механический элемент», вполне определенное для сравнительно крупнозернистой части почвы, теряет эту определенность, когда мы переходим к коллоидальной части почвы. Что здесь понимать под индивидуальной (первичной) частичкой, отдельным зерном, а что под агрегатом их — более или менее точно определить

очень трудно; вопрос упрощается, если принять вместе с фон-Веймарном, что кристалличность есть общее состояние материи; в таком случае первичными частичками или механическими элементами коллоидной части почвы, так же как и для ее крупнозернистой части, будут отдельные микро-, ультра- и амикрокристаллики.

Структурность у различных почв и у различных горизонтов одной и той же почвы может быть очень различная. Во-первых, могут быть почвы совершенно бесструктурные, рассыпающиеся на отдельные механические элементы. Затем у почв структурных структурные отдельности могут быть различной величины, различной формы и различной прочности. Мы будем в дальнейшем различать макроструктурные и микроструктурные элементы; под последними мы будем понимать все те комплексы механических элементов, величина которых ниже того предела, при котором их комплексность можно установить простым глазом или растиранием.

Далее, в отношении прочности структурных отдельностей почвы необходимо различать прочность структуры в сухом и прочность во влажном состоянии почвы. Почва может обладать такими структурными свойствами, при которых ее структурные элементы прочны и в сухом, и во влажном состоянии; иными словами, связь между отдельными механическими элементами в этом случае настолько сильна, что вода не способна расклеить их; такой случай структурности мы имеем в почвах черноземного типа почвообразования. Далее, структурные элементы могут обладать прочностью в сухом состоянии, но не обладать ею во влажном виде; такой вид структурности мы видим в почвах солонцеватого типа почвообразования; в почвах солонцовых структурные элементы в сухом состоянии могут достигать очень больших размеров и чрезвычайной прочности, но смоченные водой они теряют свою связность. Наконец, почва может обладать способностью давать структурные отдельности, достаточно прочные во влажном состоянии и рассыпающиеся при высыхании.

Два фактора, по-видимому, играют решающую роль в явлениях структурности — давление и свертывание. Относительно роли первого фактора нужно сказать, что вопрос этот остается совершенно еще открытым; отметим здесь, что, по-видимому, давление принимает большое участие в создании структуры в почве под влиянием культуры некоторых растений *. Давно уже известен факт восстановления структурности у пахотных черноземов при оставлении их под залежь; но какую роль в этом случае играет залежная растительность, а какая принадлежит другим факторам, которых здесь целая совокупность, сказать совершенно невозможно. Но вот относительно клевера можно, на основании данных Носовской станции, определенно утверждать, что под влиянием даже одно-

* Что корневая система растений принимает существенное участие в образовании структурных отдельностей почвы, что роль различных растений в этом отношении неодинакова и зависит, между прочим, от структурных свойств почвы,— это несомненно.

летней культуры этого растения бесструктурные черноземы днепровского ледникового языка приобретают структуру, сохраняющуюся некоторое время и под последующими растениями. Весьма вероятно, что одной из причин такого действия клевера является давление в почве сильно развитой его корневой системы.

Значительно более широкое значение в явлении структурности почвы принадлежит второму фактору — свертыванию мелких почвенных частиц в агрегаты. Вместе с тем роль этого фактора и лучше изучена.

В смеси, состоящей из отдельных самостоятельных механических элементов, может происходить соединение (свертывание, коагуляция) в комплексы частиц большей или меньшей величины, той или другой прочности. Мы знаем следующие причины, вызывающие это явление: 1) осаждающее действие электролитов, 2) высыхание, 3) замерзание и 4) присутствие в смеси частиц, несущих на поверхности противоположные электрические заряды (взаимная коагуляция коллоидальных частиц).

Свертывающее действие электролитов на почвенные частички зависит от величины частичек и от рода электролита. Законы этого действия изучены нами и опубликованы в статье «Действие электролитов на илистые суспензии» (Сообщ. XXIV из Бюро по земледелию и почвоведению Уч. Ком. м-ва земл., 1915), а в последнее время подтверждены исследованием Rene Gallay, произведенным под руководством проф. G. Wiegner'a, с применением новейших методов механического анализа, ультрамикроскопии и вискозиметрии (Contribution à l'étude de la coagulation de l'argile. Lausanne, 1924, а также в Kolloidchem. Beiheft., Bd. XXI, 1925, H. 7—12). Для понимания явлений структурности нужно из полученных мною результатов отметить следующее.

В общей массе почвенные частички, способные коагулировать (а таковыми являются все механические элементы почвы, диаметр которых ниже примерно 0,01 *мм*), заряжены отрицательным электричеством; поэтому коагулятором их является положительно заряженный ион электролита, т. е. катион; анион же, наоборот, препятствует коагуляции, являясь таким образом стабилизатором раздельного существования отдельных механических элементов. По своей коагулирующей силе катионы, встречающиеся в почвенной влаге, располагаются в таком порядке:



$$Li < Na < NH_4 < K < Mg < Ca < H < Al < Fe.$$

Действие анионов, противоположное действию катионов, слабее коагулирующего действия катионов; поэтому в общем результате действия двух ионов соли на почвенные частички мы и имеем их свертывание. Между анионами электролитов, встречающихся в почвенном растворе, есть только один, а именно гидроксильный ион, который по силе своего стабилизирующего действия превосходит коагулирующее действие слабо свертывающих катионов однозначных металлов. Сильное стабилизирующее влияние гидроксильного иона на почвенные частички играет очень существенную роль в почвах; в рассматриваемом случае присутствие даже

ничтожных количеств этого иона в почвенном растворе сильно понижает свертывающее действие всех электролитов.

Если бы действие электролитов на почвенные частички заключалось только в нейтрализации их катионами отрицательного заряда этих частичек, то влияние их на структурность почвы продолжалось бы лишь то время, пока эти электролиты оставались в почве; как только соли, засоляющие почвы, вымывались бы дождевыми водами вниз, или при засухе, обратно, почти полностью подымались бы и сосредоточивались в самом поверхностном слое почвы в виде корочки,— структурность почвы, вызываемая свертыванием, исчезала бы и почва распылялась до первоначальных механических элементов.

Такой случай в действительности и имеет место в природе, например в натриевых солончаках. В этом случае мы имеем дело с обратимым процессом коагуляции. Но электролиты могут вызывать в почвах более глубокое изменение, которое не исчезает с удалением из почвы самого электролита. Такое изменение, если оно происходит, может обусловливать сохранение в почве созданной электролитом структурности и после удаления элетролита из почвы промыванием (как мы увидим ниже, может быть и обратный случай — глубокое изменение, вызываемое электролитом в почве, может явиться причиной бесструктурности почвы в мокром состоянии после удаления свертывающих солей).

Нам важно теперь отметить, что те изменения в твердой фазе почвы, о которых сейчас идет речь, возникают вследствие взаимодействия между электролитами и почвенным поглощающим комплексом; остальная часть почвы, иногда во много раз превышающая количество этого комплекса, практически в этом процессе роли не играет. В общем можно считать, далее, что почвенный поглощающий комплекс является в почве ее коллоидально раздробленной частью; в какой мере совпадает граница (по величине диаметра частиц) между почвенными частицами, практически обладающими поглотительной способностью и не проявляющими таковой, с принятой границею между коллоидальными и неколлоидальными размерами (0,25 *мк*), мы в точности не знаем; во всяком случае, эти границы близки между собою. В дальнейшем для удобства мы будем считать таковой границей 0,1 *мк*.

Таким образом, можно сказать, что существенно на структурность почвы электролиты влияют своим действием на коллоидальную часть почвы, а все остальные перечисленные выше факторы, влияющие на структурность почвы (высыхание, действие мороза, взаимное осаждение почвенных частиц), действуют тем, что изменяют состояние коллоидальной фракции почвы.

Таким образом, коллоидальная фракция почвы является той частью почвы, от которой зависит структурность почвы; *структурность данной почвы обусловливается величиной и состоянием коллоидальной фракции почвы, или почвенного поглощающего комплекса.* Остальные две механические фракции почвенного мелкозема, песчаная (от 1 до 0,01 *мм*) и пылеватая (0,01—0,0001 *мм*), играют пассивную роль, роль балласта.

Особая роль, принадлежащая коллоидальной фракции в явлениях структурности почвы, обусловливается, как и в прочих особых свойствах коллоидально распыленного вещества, величиной частиц этой фракции. Начиная примерно с величины 0,1 *мк*, частицы обладают уже таким сильно выраженным молекулярным притяжением, что при встрече между собою и отсутствии отталкивающих сил (а таковыми у почвенных коллоидальных частиц является их отрицательный электрический заряд) они соединяются между собою в прочные агрегаты; чем выше степень дисперсности коллоидальных частиц, тем выше и клеющая их способность. Коллоидальные частички не только склеиваются между собою, но могут склеивать и частички более крупных фракций, являясь в этом случае цементом. Но чтобы структурные отдельности, получившиеся при высыхании почвы в результате склеивания почвенных частиц коллоидальной фракцией почвы, обладали достаточной прочностью и при увлажнении почвы не распадались на первоначальные механические элементы, для этого цементирующие коллоидальные частички должны быть свернуты необратимо.

Таким образом, для создания в почве прочной, водоупорной структуры кроме присутствия в почве коллоидальной фракции в достаточном количестве необходимо, чтобы эта фракция обладала способностью к необратимой коагуляции. А для этого коллоидальная фракция почвы должна быть насыщена теми катионами, свертывающее действие которых сильнее, нежели стабилизирующее действие гидроксильного иона, т. е. катионами двузначных или трехзначных металлов. Если же насыщающими катионами являются металлы однозначные, то необратимого свертывания коллоидальной фракции не получается, ибо стабилизирующее действие гидроксильного иона в этом случае сильнее свертывающего влияния катиона. Такая зависимость характера коагуляции от рода катиона, насыщающего поглощающий комплекс почвы, вызывается тем обстоятельством, что непосредственно примыкающий к поверхности коллоидальной частички слой почвенной влаги всегда богат, вследствие обменной реакции между водородным ионом воды и поглощенными катионами почвы, гидратами окиси поглощенных оснований.

Применим высказанное положение к почвам различного типа. Рассмотрим прежде всего тучный чернозем. Почвы эти богаты гумусом, а значит, и органическими коллоидальными веществами; количество минеральных коллоидальных частиц будет зависеть от степени глинистости материнской породы. Поглощающий почвенный комплекс насыщен кальцием и отчасти магнием; вокруг коллоидальных частиц поглощающего комплекса почвенная влага всегда богата сильным коагулятором — гидратом окиси кальция; поэтому в таких почвах, несмотря на богатство их коллоидальных фракций, почти не имеется отдельных свободных коллоидальных частиц; частицы эти склеены в мелкие агрегаты, образуя микроструктуру, которая не разрушается даже при взбалтывании с водою.

Вследствие высокой клеющей способности, главным образом высокодисперсной органической части поглощающего комплекса, способность

эта сохраняется и у этих первичных агрегатов, хотя и в меньшей степени, чем у коллоидальных частиц. Поэтому первичные агрегаты дают далее более крупные структурные элементы, являясь вместе с тем цементом для склеивания частичек более крупных механических фракций; получаются макроструктурные элементы, которые, однако, не могут достигать сколько-нибудь крупных размеров, ибо клеющая способность коллоидальных частиц в той или другой своей части израсходована уже при образовании первичных агрегатов. Но эта мелкая структура (зернистая) обладает большой стойкостью в отношении распыляющего действия воды и раздробляющего действия орудий обработки.

От полосы тучного чернозема на юго-восток почвы постепенно приобретают все бóльшую и бóльшую солонцеватость, а в зоне полупустынных почв, за исключением тех местностей, где засоляющей солью является гипс, солонцеватость является уже обычным явлением, — то в чистом виде, то замаскированная присутствием растворимых солей натрия, то в той или другой степени нарушенная процессами осолодения.

В этих почвах к двузначным поглощенным катионам тучного чернозема присоединяется однозначный катион натрия. В почвенном растворе вокруг каждой коллоидальной частички поглощающего комплекса появляется едкий натрий, т. е. сильный стабилизатор OH и слабый коагулятор Na; поэтому во влажном состоянии почвы коллоидальная ее фракция не цементирует, а остается в распыленном состоянии. Вместо агрегатов имеются отдельные коллоидальные частички; вследствие этого такие почвы во влажном состоянии не обладают ни микро-, ни макроструктурой. Так как при этом отдельные коллоидальные частички обладают способностью сильно удерживать вокруг себя слой воды большей или меньшей мощности, в зависимости от их дисперсности, и поэтому прилегают друг к другу и к частичкам других механических фракций не своей поверхностью, а поверхностью этой водной оболочки, то солонцеватые почвы (или солонцеватые горизонты этих почв) обладают способностью сильно набухать, становясь при этом водонепроницаемыми, водонеподымающими, вязкими и мажущими.

Мы выше указывали, что засоленность почвы может придать почве структурность, не исчезающую после удаления из почвы засоляющих ее солей только в том случае, когда засоляющие соли в состоянии вызвать в поглощающем комплексе соответствующее внутреннее изменение; в противном случае структурность, созданная этими солями в результате их свертывающего действия, исчезает вместе с удалением солей. Как раз этот случай и имеет место в солонцах, если они, засолясь натриевыми солями, превратятся в натриевый солончак; тогда бесструктурность бывшего солонца исчезнет вследствие свертывающего действия на распыленные коллоидальные частички засоляющих почву солей (конечно, если концентрация этих солей достаточна для этого); но как только солончак рассолится, он снова превратится в солонец, со всеми выше описанными свойствами бесструктурного, высококоллоидального тела. И это потому, что хлористый или сернокислый натрий в поглощающем почвенном ком-

плексе, насыщенном натрием, не может, конечно, изменить состав поглощенных катионов.

Иное дело, если солонец будет засолен какой-нибудь кальциевой солью (например, при гипсовании); тогда, рассолившись, он сохранит в той или другой степени структурность, созданную гипсом, так как присутствовавший раньше гипс оставил в почве глубокий след, заменив в большем или меньшем количестве поглощенный натрий солонца своим кальцием.

Когда бесструктурный солонец из влажного бесструктурного состояния перейдет в состояние сухое, то клеющая способность распыленной коллоидальной фракции его может проявиться в полной степени, так как не имеется уже распыляющего фактора, т. е. нет жидкости, содержащей гидроксильный ион; в этом состоянии солонец представляет (обратно тому, что во влажном) высокоструктурное почвенное образование. Крупные структурные отдельности солонцов (столбы, призмы, глыбы), вследствие сильной клеющей способности распыленной коллоидальной фракции, обладают большой связностью и прочностью; но это только в сухом состоянии. Лишь только почва пропитается водой, она снова переходит в то же бесструктурное состояние, в каком она была до высыхания, так как свертывание коллоидов солонца при высыхании есть процесс обратимый вследствие появления в почвенной влаге гидроксильного иона.

На север от тучного чернозема постепенно падает в почве количество гумуса и уменьшается мощность гумусового горизонта; уменьшается поэтому и количество в почве органических коллоидальных веществ. Постепенно, по мере движения на север, все сильнее и сильнее происходит разрушение и минеральных коллоидальных частиц, с выносом вниз коллоидальных растворов кремнекислоты, глинозема и окиси железа.

Таким образом, почвы на север от тучного чернозема, и особенно почвы подзолистой зоны, обеднены коллоидальной фракцией; естественно поэтому, что способность их давать структурные отдельности также понижается по мере перехода в подзолистую зону, где уже содержание коллоидальной фракции обычно так мало, что почвы становятся бесструктурными. Понижение структурности в этих почвах усиливается еще тем, что остающийся в них неразрушенным поглощающий комплекс в той или другой степени не насыщен основаниями; часть кальция и магния в нем замещена водородом; таким образом, понижается в почвенном растворе количество сильно свертывающих щелочноземельных металлов; к тому же и вообще почвенные растворы этих выщелоченных почв по сравнению с более южными почвами бедны растворенными минеральными веществами. Правда, почвенные растворы этих почв обычно кислы, а водородный ион и сам по себе является сильным коагулятором и, кроме того, сильно повышает свертывающую силу других катионов; но дело в том, что кислотность достигает заметной величины лишь в торфянистых слоях, в непахотных же почвах без торфа и в пахотных слоях почти всех полевых почв кислотность ничтожна, что в связи с очень малым содержанием в почвенном растворе солей не дает этому фактору сказаться более или менее заметно на структурности.

Часто наблюдающаяся в верхних горизонтах подзолистых почв пластинчатая структура отличается вообще непрочностью; ее происхождение не ясно; возможно, что здесь проявляет себя заметно второй фактор структурности — давление в вертикальном направлении; фактор этот не может оказывать заметного действия при большем или меньшем содержании в почве коллоидальной фракции, так как в данном случае этому должна мешать тенденция давать трещины и в других, кроме горизонтального, направлениях. По-видимому, именно подзолистые почвы, сильно обедненные коллоидальной фракцией и относительно богатые пылеватыми элементами, наиболее благоприятны для проявления горизонтальной слоеватости в связи с колебаниями в увлажнении, а может быть, и с действием мороза. Появляющаяся в северных черноземах более крупная, чем в тучном черноземе, структурность в горизонте В стоит, по всей вероятности, в прямой связи со степенью деградации и вызывается вмыванием сюда тех высококоллоидальных растворов, которые являются продуктами опоздоливания верхнего горизонта. В подзолистых почвах этих продуктов уже может быть так много, что получаются не структурные отдельности, а плотные новообразования.

Что касается структурности солодей и осолодевших почв, возникающих путем деградации солонцов и солонцеватых почв с разрушением их поглощающего комплекса, то в общем здесь наблюдается та же картина, что и в подзолистых почвах и деградированных черноземах.

Так как структурность в первую очередь обусловливается количеством коллоидальной фракции, а последняя состоит из органической и минеральной части, и так как структурность зависит также от соотношения между другими механическими фракциями почвы, то на это свойство почвы влияет не только характер почвообразовательного процесса, но в весьма сильной степени и механический состав той породы, из которой образовалась почва. При современном состоянии вопроса тут можно только вообще сказать, что чем глинистее почва, тем она должна быть более структурной. Для познания количественной зависимости между тем и другим теперь не хватает еще соответствующих механических анализов. Тот многочисленный материал, который накоплен до настоящего времени с подразделением почвы на глинистую и песчаные фракции, для этой цели вовсе непригоден; недостаточен также для этого более подробный анализ с выделением илистой фракции: необходимо изучение ультрамеханического состава почвы, состава ее коллоидальной фракции.

Все более и более развивающаяся за границей техника непрерывного механического анализа почвы, принцип которого впервые был дан еще в 1902 г. русским агрономом-почвоведом Г. Ф. Нефедовым (Журн. оп. агрономии, 1902, т. III, стр. 421), позволяет надеяться, что чрезвычайно существенный для чистого и прикладного почвоведения вопрос о структурности почвы будет в скором времени изучен с подобающей его значению полнотой: общие принципы даны, методика в большей или меньшей степени налажена, теперь надо приступать к исследованию.

Если смотреть на почву как на культурную среду для растений, то приходится признать, что структурность почвы является одним из самых важных моментов, определяющих величину создаваемой почвой растительной массы. Особенно существенна подходящая структура для сельскохозяйственных растений. Для естественной растительности, как травянистой, так и древесной, вопрос о структурности не так важен: тут само растение своими корнями создает подходящую для себя структуру, не нарушаемую вмешательством человека.

Со стороны требований, предъявляемых растениями к почве в отношении воды и воздуха, существует антагонизм; в сущности говоря, чем больше запас в почве воды, тем лучше растению, но при непременном условии, чтобы в почве оставался достаточный запас воздуха и достаточно энергично происходила аэрация почвы; только при наличии этих условий почвенные химические и микробиологические процессы будут совершаться так, что будет получаться максимум возможного для данной почвы плодородия, и вместе с тем в почве будут удовлетворительные для жизни растений санитарные условия.

Обычно в почве эти условия не выполняются; обычно имеет место либо недостаток воды, либо недостаток кислорода. В первом случае растение страдает от засухи; во втором оно задыхается, не обеспечено достаточным количеством доступных питательных веществ вследствие пониженной химической и аэробной микробиологической деятельности почвы, а очень часто не может использовать и тех небольших количеств питательных веществ, какие в почве имеются или искусственно вносятся, так как в первом минимуме оказывается в почве кислород; наконец, в этом случае растение может страдать вследствие наличия в почве при недостатке кислорода восстановительных процессов, дающих вредные растениям недоокисленные продукты. Структурность почвы является естественным регулятором противоречий между водным и воздушным режимами почвы.

Рассмотрим с точки зрения этих режимов три обширные механические фракции почвенного мелкозема: песчаную (1—0,01 *мм*), пылеватую (0,01—0,0001 *мм*) и коллоидальную (0,0001—0 *мм*).

Песчаная фракция неблагоприятна для водного режима почвы, так как вследствие малой капиллярной порозности она обладает ничтожной способностью запасать воду; она не способна поднимать воду уже с небольшой глубины, что, с одной стороны, может явиться причиной страдания растений от засухи даже в том случае, когда внизу, недалеко, но вне области корневой системы, имеются запасы воды; с другой стороны, это обстоятельство может повести в известных случаях к заболачиванию. В отношении воздушного режима фракция эта вообще благоприятна в силу большой своей некапиллярной порозности, исключая, конечно, случаи заболоченности.

Фракция пыли обладает лучшей водонакопляющей, водозадерживающей способностями, так что в отношении водного режима она благоприятнее, нежели фракция песка; но воздушный режим ее очень плохой, так как некапиллярная порозность у нее очень малая, поэтому водопрони-

цаемость ничтожная и атмосферные осадки даже незначительной величины вызывают заплывание, заболачивание ее и прекращают аэрацию.

Третья, самая мелкая фракция почвы, *коллоидальная*, если отдельные частички ее находятся в свободном, не свернутом в прочные комочки состоянии (что имеет место в солонцеватых горизонтах), обладает наиболее плохим и водным, и воздушным режимом. Вследствие полного отсутствия в ней некапиллярной порозности и благодаря очень узким капиллярам она водонепроницаема; увлажненная сверху дождем, она впитывает влагу лишь в самом поверхностном слое; дальнейшее передвижение воды вниз тогда прекратится и аэрация станет невозможной. Но эта фракция, в противоположность остальным двум, способна, как мы видели выше, давать при известных условиях прочные агрегаты своих частиц с частицами других фракций.

В тех почвах, где этой фракции достаточно, где она притом насыщена основаниями, и именно кальцием (отчасти магнием), там создается в почве наиболее благоприятная и для водного, и для воздушного режима мелкокомковатая (зернистая, крупичатая) структура. В почве с такой структурой имеется достаточной величины некапиллярная порозность вследствие сравнительно широких, некапиллярных промежутков между отдельными комочками. Атмосферные воды в этих промежутках не задерживаются; поэтому газовый обмен между почвой и атмосферой после дождя быстро восстанавливается. Вместе с тем, у такой почвы большая способность удерживать воду, накоплять запасы ее — благодаря тому, что в отдельных комочках высокая капиллярная порозность и такой комочек жадно впитывает в себя просачивающуюся между комочками атмосферную влагу. Наконец, почва с мелкокомковатой структурой обладает в отношении водного режима еще одним очень существенным свойством: она хорошо сохраняет запасенную ею воду, так как непрерывной капиллярной сети, по которой вода могла бы подниматься снизу вверх и теряться с поверхности испарением, в ней почти не имеется; сеть эта может существовать в такой почве только лишь в небольших областях непосредственного соприкосновения комочков между собою.

Теоретически должна существовать для данных климатических условий определенная величина комочков, наиболее благоприятная и для водного, и для воздушного режимов; если комочки крупнее, то воздушный режим будет оставаться в той же степени благоприятным, а водный режим станет хуже, так как большие комочки не будут успевать пропитываться целиком водою; в такой почве то же количество атмосферных осадков будет давать меньший запас воды. С уменьшением же величины комочков будут создаваться худшие условия проветривания почвы.

Самым неблагоприятным случаем структурности в сельскохозяйственном отношении будет тот, когда коллоидальная фракция содержит поглощенный натрий (солонцы и солонцеватые почвы), и тем более неблагоприятным, чем выше содержание в почве коллоидальных частиц. В почвах, не содержащих поглощенного натрия (т. е. во всех остальных почвах), вредной в смысле структурности является фракция пыли; если со-

держание ее по сравнению с содержанием коллоидальной фракции выше некоторой величины (какой именно, мы не знаем; величина эта, между прочим, должна зависеть от климатических условий места), то структурность такой почвы будет неблагоприятной в сельскохозяйственном отношении, и тем более неблагоприятной, чем больше относительное количество пыли в почве; структурность в таких случаях будет изменяться от более мелкой, чем зернистая, и до полной бесструктурности.

В качестве конкретного примера такого случая — сильного преобладания фракции пыли над коллоидальной и тех последствий для сельскохозяйственной культуры, какие вытекают из этого преобладания, могу привести почвы района Носовской сельскохозяйственной опытной станции. По данным обычного механического анализа почвы эти относятся к легким суглинкам и, казалось бы, в этом отношении представляют собою среду, благоприятную для роста растений, а между тем они, при малом своем естественном плодородии, чрезвычайно слабо реагируют на вносимые удобрения; таким образом, их недостатком является малая максимальная производительность.

Я здесь не имею возможности подробно останавливаться на этом; желающие найдут материалы в отчетах агрохимического отдела станции и в моей монографии «Почва как культурная среда для сельскохозяйственных растений» (изд. Носовской станции, 1926 г.). Укажу здесь только на то, что, как показали исследования агрохимического отдела станции, дело здесь в том, что воздушный режим этих почв неблагоприятен для растений и является фактором, ограничивающим развитие растений и использование ими вносимых удобрений. Плохая же аэрация почвы является следствием ее бесструктурности, которая в свою очередь обусловливается сильным преобладанием фракции пыли (0,01—0,0001 *мм*) — около 40%, над коллоидальной фракцией (меньше 0,0001 *мм*), которой здесь всего около 3%.

Такой неблагоприятный механический состав этих черноземов является следствием их особого генезиса: это — осолодевшие солонцеватые почвы, потерявшие во время осолодения значительную часть своего поглощающего комплекса. Вследствие такого механического состава почвы эти, относящиеся, как я сказал, к легким суглинкам и находящиеся в общем в засушливом климате (среднегодовое количество атмосферных осадков около 460 *мм*) страдают во влажные периоды года (весной и осенью) от избытка влаги, так как почва заплывает и газообмен ее с атмосферой затрудняется. Носовская станция нашла весьма рациональный способ борьбы с бесструктурностью своих почв, именно введение в севооборот клевера, который заметно улучшает структурные свойства этих почв.

Ленинград, июнь 1926 г.

ПОЧВА КАК КУЛЬТУРНАЯ СРЕДА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ[1]

ПОЧВЕННЫЕ КОЛЛОИДЫ И СОЛОНЦЕВАТОСТЬ ПОЧВ

ВВЕДЕНИЕ

Цель всякой полеводственной сельскохозяйственной станции повысить насколько возможно количество органической массы известного качества, даваемой полями района станции. Для осуществления этой цели станция должна стремиться овладеть теми внешними условиями, которые влияют на рост растения и создают тот или другой его урожай и которые носят общее название факторов вегетации.

Овладеть каким-либо фактором вегетации, это значит прежде всего изучить его в районе действия станции, независимо от действия его на растение с качественной и количественной стороны; а так как вся совокупность факторов вегетации составляет то, что известно под общим именем естественноисторических условий района, то необходимой предпосылкой для достижения конечной цели станции является познание этих условий в своем районе. Далее необходимо установить зависимость между факторами вегетации, ростом растений и качеством урожая, т. е. найти законы их влияния на растение, и наконец, найти способы изменять интенсивность этих факторов в том или другом направлении и этим регулировать их влияние на растение.

Одним из таковых факторов вегетации является почва; точнее сказать, в почве мы имеем сложную совокупность отдельных факторов вегетации: растение произрастает на почве, а существенная часть растения — его корень, всю жизнь свою проводит в самой почве, откуда он берет необходимые для растения питательные вещества, воду и необходиый для его дыхания кислород.

Громадная роль в урожайности растений принадлежит далее метеорологическим факторам (влага, теплота, воздух); но большинство из этих факторов действует на растение не непосредственно, но через почву; влияние этих факторов на растение преломляется, так сказать, через почву, причем степень и направление такого преломления находятся в тесной зависимости от свойств данной почвы; так например, одно и то же количество атмосферных осадков при их одинаковом распределении во вре-

---

[1] Воспроизводится по изданию 1926 г., Киев, «Киев-печать».

мени может повлиять на урожай на глинистой почве или на почве, богатой перегнойными веществами, совершенно иначе, нежели на песчаной или бедной гумусом почве.

Такое посредственное, через почву преломляющееся влияние метеорологических факторов придает еще большее значение изучению почвы как среды, в которой растут и развиваются сельскохозяйственные растения, изучению всех тех свойств почвы, которые так или иначе могут влиять на величину урожая. Вместе с тем такое посредственное действие на растение метеорологических факторов очень усложняет изучение почвы в агрономическом отношении, так как вносит целый ряд новых, сложных и трудных вопросов; достаточно указать, что для возможности управлять величиной урожая на данной почве является необходимым изучить законы передвижения атмосферной влаги в почве, законы обмена воздухом между почвой и атмосферой и т. д.

Наконец, для более ясного представления о всей сложности вопроса о почвенных факторах вегетации, нельзя не отметить значения особой группы почвенных факторов — факторов микробиологических. Почва населена громадным количеством живых микроскопических организмов (бактерии, грибки, водоросли, простейшие); в 1 *см*^{3} почвы насчитываются миллионы этих микроорганизмов. Одни из этих микроорганизмов являются очень полезными в почве, как среде для культивируемых растений (таковы, например, микроорганизмы, разлагающие азотистые органические вещества с образованием аммиака — аммонизаторы; бактерии, окисляющие аммиак дальше в азотистую и азотную кислоты — нитрификаторы; бактерии, питающиеся газообразным азотом воздуха и переводящие его в связанное состояние, и т. д.); другие, наоборот, в процессах своей жизни производят вредные для растений вещества или разрушают полезные для растений соединения (например, так называемые денитрификаторы, которые разрушают азотнокислые соли в почве, являющиеся наряду с аммиачными соединениями почвы источником азотистого питания растений).

Интенсивность деятельности почвенных микроорганизмов находится в тесной зависимости от свойств почвы; эти свойства могут быть таковы, что полезная для растений деятельность микробов будет преобладать над вредной.

Всякая сельскохозяйственная опытная станция должна, очевидно, изучить микрофлору почв своего района и те свойства почвы, которые так или иначе влияют на жизнедеятельность этого населения, с тем, чтобы различными искусственными приемами направлять их деятельность в желательную сторону.

Таким образом, те свойства почвы, которые, являясь факторами вегетации, подлежат изучению на опытных станциях, чрезвычайно разнообразны. Изучение их сосредоточивается в особых отделах станций, носящих различное название. На Носовской сельскохозяйственной опытной станции такой отдел называется агрохимическим. Настоящая статья имеет целью познакомить читателя с направлением работ этого отдела Носов-



Профессор К. К. Гедройц читает лекцию о значении вегетационного метода в вегетационном домике Носовской с.-х. опытной станции

ской станции и с главными выводами, к которым он пришел за время своей деятельности.

Так как свойства почвы вообще и особенно те ее свойства и особенности, в которых проявляется жизнь почвы, ее постоянная изменчивость и отзывчивость на внешние условия, и от которых в конце концов зависит сельскохозяйственное достоинство почвы и приемы улучшения почвы, самым тесным образом связаны с коллоидальными веществами почвы и с теми реакциями, которые обусловливаются свойствами вещества в коллоидальном состоянии, то для общедоступности моего изложения я считаю необходимым в соответствующих местах настоящей статьи ввести в самой краткой и доступной форме главнейшие основы учения о почвенных коллоидах и реакциях взаимообмена между ними и солями, растворенными в почвенной влаге. Буду из указанной области останавливаться только на том, что имеет непосредственное отношение к работам Агрохимического отдела Носовской станции. В изложении же буду руководствоваться данными общей коллоидальной химии и результатами своих работ по изучению коллоидальных свойств почвы.

Глава I. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Между различными свойствами почв имеются такие, которые можно назвать *основными свойствами почвы*; их необходимо знать, во-первых, для того, чтобы иметь общее представление о почве, об ее происхождении и принадлежности к тому или другому почвенному типу, подтипу и т. д.; а во-вторых, для того, чтобы можно было изучать дальнейшие свойства почвы, так как все остальные ее свойства являются производными от основных свойств почвы.

Определить, что я понимаю под термином «основные свойства почвы», можно приблизительно так: это такие свойства, которые, определяя общую физиономию почвы, отличаются известным постоянством; конечно, и они изменяются во времени, так как в почве нет ничего абсолютно постоянного; но, чтобы изменения основных свойств почвы произошли естественным путем и чтобы они при этом стали доступными нашим методам исследования и повлияли бы на рост возделываемых растений, нужны периоды времени, измеряемые десятками и сотнями лет. Для того чтобы эти свойства изменить искусственно и в течение сравнительно короткого времени, земледельцу нужно прибегнуть к коренным мелиорациям, обычными же приемами обработки и удобрения основные свойства почвы могут более или менее ощутимо изменяться лишь при применении их в течение очень многих лет. К таковым основным свойствам почвы нужно отнести прежде всего ее элементарный валовой состав, под которым понимается следующее. Я остановлюсь подробнее на выяснении этого понятия, так как это нам пригодится и для последующего изложения.

Почва состоит из минеральной и органической части. Та и другая представляют совокупность многих отдельных соединений. Сказать, какие это соединения и сколько их, мы, при настоящем состоянии наших знаний, не можем. Но мы знаем, что минеральная часть почвы содержит только соединения, имеющие характер или так называемых окислов, или так называемых солей, причем из свободных окислов в почве всегда имеется в том или другом количестве окисел кремния — SiO_2 (кремнезем в виде кристаллической кремнекислоты — кварц или аморфная кремнекислота), и могут быть еще окислы железа — Fe_2O_3 и алюминия — Al_2O_3. Остальная минеральная часть почвы представляет соли, т. е. соединения кислотных окислов с основными (или кислоты, в которых водород замещен металлом).

В органической части почвы, в ее гумусе также содержатся соли, но соли органических кислот, связанных также с металлами, а кроме того часть гумуса представляют вещества иной химической природы (например, белки, углеводы); это группа так называемых индифферентных органических веществ почвы. Затем нам известно, какие элементы входят в состав почвы; в минеральную часть входят: кремний, алюминий, железо, марганец, кальций, магний, калий, натрий, кислород, азот, фосфор, сера; кроме того почва содержит целый ряд других элементов

(например титан, барий, цезий, рубидий, литий), но эти элементы при обычном валовом анализе не учитываются; их количества, кроме разве титана, вообще очень ничтожны; почвы в этом отношении еще очень мало изучены, и роль этих элементов в жизни почвы и растения нам еще совершенно неизвестна.

Не умея определять, в каких именно соединениях в почве находится каждый из этих элементов и какая часть данного элемента почвы находится в том или другом ее соединении, мы можем определить общее количество каждого элемента в любой почве. Так вот, общее содержание в почве каждого элемента во всех имеющихся соединениях его в данной почве носит название валового содержания этого элемента в почве, а валовое содержание всех встречающихся в минеральной части появы элементов носит название валового состава минеральной части почвы; определяется оно в почве с помощью химического исследования почвы, носящего название валового анализа почвы.

Полученное этим анализом валовое содержание каждого элемента выражается не прямо в количестве этого элемента, а в количестве его окисла, т. е. соединения его с кислородом, потому что, как сказано было выше, почва содержит элементы или в виде свободных окислов (например SiO_2), или в виде соединения кислотного окисла с основным, т. е. в виде соответствующей соли (например, кремний и кальций могут быть в почве в виде соли SiO_4Ca_2, т. е. $SiO_2 + 2CaO$). Поэтому, если например, в 100 *г* минеральной части почвы определить валовым анализом количество каждого содержащегося в ней элемента и на основании полученных данных вычислить для каждого элемента вес его окисла, то сумма окислов всех этих элементов должна бы дать ровно 100 *г*, если бы не было ошибки анализа; вследствие же неизбежности ошибок сумма получится несколько иная, около 98 *г*.

В органической части почвы определяется общее содержание углерода и азота. На основании общего содержания углерода можно приблизительно узнать и общее содержание в почве гумуса, так как можно с некоторым приближением допускать, что в гумусе всякой почвы (кроме торфянистых) содержится около 58% углерода. Нужно иметь в виду, что гумус почвы всегда содержит минеральные элементы (золу), которые частью входят в него как основания органических кислот, частью же входят как необходимый элемент в молекулу того или другого органического соединения гумуса, например фосфор и сера в молекуле некоторых белковых веществ. При валовом анализе почвы эти элементы учитывают вместе с остальными в валовом составе минеральной части почвы.

Если оставить в стороне содержащийся в почве свободный кремнезем (SiO_2), содержание которого зависит главным образом от степени мелкозернистости почвы (чем почва глинистее, тем меньше в ней этого кремнезема, чем она песчанее, тем, обратно, больше она содержит этого вещества), то можно сказать, что почва состоит главным образом из различных солей. Все соли, составляющие минеральную часть почвы, можно разбить на две большие группы: 1) соли кремневых, алюмокремневых и

феррикремневых кислот (будем их называть сложными солями) и 2) соли всех остальных минеральных кислот — простые соли.

Вода действует на эти две группы солей неодинаково. Сложные соли она почти вовсе не растворяет, но зато разлагает, разрушает их, превращая их в другие соединения. Простые же соли вода не разлагает, но растворяет. Нас сейчас интересует эта вторая группа солей, соли простые. Прежде всего укажу, какие именно простые соли встречаются в почве: 1) углекислые соли кальция, магния, натрия, калия, иногда закиси железа; 2) сернокислые соли кальция, магния, натрия, калия; 3) хлористые соли кальция, магния, натрия, калия; 4) фосфорнокислые соли кальция, магния, железа и алюминия; 5) азотистокислые и азотнокислые соли кальция, магния, натрия, калия. Можно утверждать, что все перечисленные соли в каждой почве имеются, вопрос лишь в том, каково их количество в данной почве. Из указанных солей одни труднорастворимы в воде (углекислый кальций и магний и фосфорнокислые соли); другие среднерастворимы (сернокислый кальций); остальные же легкорастворимы.

Для определения в почве количества содержащихся в ней легкорастворимых солей применяется метод *водной вытяжки*. Водная вытяжка дает возможность решить очень важный в агрономическом отношении вопрос о таком основном свойстве почвы, как — содержит ли она какие-либо из этих легкорастворимых солей в количествах, могущих вредно влиять на растительность.

Следующим очень важным основным свойством почвы является *состав поглощенных катионов в поглощающем почвенном комплексе* и величина последнего. Под именем *поглощающего почвенного комплекса* мы обозначаем очень мелкораздробленную часть почвы, размеры частиц которой ниже примерно 0,0001 *мм*; эта часть почвы состоит из нерастворимых в воде солей кремневых, алюмокремневых и различных органических кислот, причем связанные с этими кислотами металлы (в том числе в некоторых случаях и водород) оказываются способными вступать в обмен с металлами (катионами) тех простых солей, которые находятся в растворе почвенной влаги (в почвенном растворе); таким образом, эти мельчайшие почвенные частички, как минеральные, так и органические, оказываются способными «поглощать» из растворов катионы солей; поэтому вся совокупность этих частиц, ближайший химический состав которых нам неизвестен, назван нами «*почвенным поглощающим комплексом*», а те содержащиеся в нем катионы, которые способны обмениваться на катионы солей почвенного раствора,— «*поглощенными катионами*». Как мы увидим ниже, величина поглощающего комплекса почвы и состав его поглощенных катионов играют существеннейшую роль в сельскохозяйственных свойствах носовских почв.

Наконец, последнее основное свойство почвы, на котором мы остановимся,— это *механический состав почвы*. Почва состоит из твердых частичек (кристалликов или осколков кристалликов) различной величины; эти отдельные частички носят название механических элементов почвы

а общее количество в почве частичек данной величины называется механической фракцией почвы. Имеются способы, дающие возможность выделить из почвы ту или другую механическую фракцию, например, выделить все механические элементы, диаметр которых заключается между 0,05—0,01 *мм* (приближенно допускается, что почвенные частички имеют шарообразную форму); такими методами можно разделить взятую навеску почвы на составляющие ее механические фракции, полученные фракции взвесить и определить таким образом то, что называется *механическим составом почвы*; нужно только предварительно условиться, на какие фракции разделять почву, так как само собою разумеется, что границы для каждой механической фракции могут быть выбраны различно: можно выделять фракцию с размерами частиц между 0,05 и 0,01 *мм*, а можно с размерами между 0,06—0,02 *мм*, или же вместо одной фракции размерами между 0,05—0,01 *мм* можно выделить две: одну с размерами 0,05—0,025, а другую — 0,025—0,01 *мм*.

Таким образом, данную почву можно очень различным способом разбить на составляющие ее механические фракции или, иначе говоря, в основу механического анализа почвы может быть положена та или другая классификация почвенных механических фракций с теми или другими пределами между отдельными фракциями и той или другой дробностью механческих фракций.

Нужно отметить, что до сих пор еще не удалось выработать такой классификации, в которой границы между фракциями были бы не произвольны, а основывались бы на изменении каких-либо важных свойств фракций при переходе через эти границы: для этого недостаточно еще изучены свойства отдельных механических фракций.

Из классификаций почвенных механических фракций наиболее дробной и наиболее распространенной (особенно в России) в настоящее время является классификация проф. Вильямса, несколько видоизмененная проф. Сабаниным. По этой классификации мелкозем почвы, т. е. вся та часть почвы, частицы которой имеют диаметр меньше 1 *мм* (в носовских почвах нет частиц крупнее 1 *мм*), разбивается на следующие механические фракции:

Диаметр частиц, *мм*	Фракция	Диаметр частиц, *мм*	Фракция
1—0,25	Среднего песка	0,01—0,005	Средней пыли
0,25—0,05	Мелкого »	0,005—0,001	Мелкой »
0,05—0,01	Крупной пыли	<0,001	Ила

Вся совокупность фракций с диаметрами частиц от 1 до 0,01 *мм* называется иногда песком, а вся совокупность более мелких фракций, с диаметром частиц меньше 0,01 *мм*,— глиной.

Глава 2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ НОСОВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ

Изучение почв полей Носовской опытной станции в отношении вышеуказанных трех основных свойств дает возможность охарактеризовать эти почвы таким образом: по характеру гумуса (нейтральная реакция), по распределению его в вертикальном разрезе почвы (очень постепенное убывание количества гумуса с глубиной и распределение его на большую глубину), по составу поглощенных катионов (в поглощающем комплексе исследованных уже носовских почв найдены только кальций и магний; более подробные исследования, быть может, обнаружат присутствие там, по крайней мере в некоторых разностях почв, ничтожных количеств поглощенного водорода или поглощенного натрия, в зависимости от стадии эволюции, переживаемой почвой на том или другом элементе микрорельефа, сильно выраженного на полях станции), по довольно высокому залеганию уровня горизонта, содержащего углекислый кальций (в некоторых разностях почв носовских полей этот горизонт встречается уже на глубине около 60 *см* от поверхности и только местами он не обнаружен даже на глубине 3 *м*),— носовские почвы, несомненно, должны быть отнесены к почвам черноземного типа почвообразования; на то же указывает очень слабое изменение в валовом содержании кремнекислоты, окиси железа и окиси алюминия в различных горизонтах вертикального почвенного разреза; такое однообразное содержание этих веществ в вертикальном направлении — указание на очень слабое разрушение водою сложных (силикатных и алюмосиликатных) солей почвы, а это является одним из существеннейших признаков, отличающих черноземный тип почвообразования от подзолистого.

Но по содержанию гумуса (около 3,5%) носовские черноземы должны быть отнесены к очень низкогумусным черноземам; в этом отношении они близки уже к почвам подзолистого типа, отличаясь, однако, от последних в отношении гумуса значительно большей мощностью гумусового горизонта. Причинами такого малого содержания перегнойных веществ в носовских почвах являются: их переходный характер (близость границы подзолистой зоны), механический состав и некогда бывшая, по-видимому, их солонцеватость (на этом свойстве почв я остановлюсь дальше).

Механический состав. По механическому составу почвы Носовской станции приходится отнести к легким суглинкам: хотя они содержат довольно высокий процент так называемых глинистых частиц (с диаметром меньше 0,01 *мм*), а именно около 33% от веса почвы, но эта глинистая фракция состоит почти исключительно из частиц с диаметром от 0,01 до 0,001 *мм*, т. е. из средней и мелкой пыли; этих двух фракций в почве около 25%, а на долю самой мелкой почвенной фракции, частицы которой меньше 0,001 *мм* (илистая фракция), приходится всего около 7%. Мы увидим ниже, что такое малое содержание ила в носовских почвах в связи со сравнительно большим содержанием средней и мелкой пыли накладывает своеобразный отпечаток на агрономические свойства этих почв.

Валовой состав. Валовой анализ почвы дает указания не только в отношении генезиса почвы; на основании валового содержания в почве питательных элементов: азота, фосфора, серы, калия, кальция и магния, мы можем судить о богатстве нашей почвы, т. е. об общем запасе в ней этих элементов. Само собой разумеется, что чем запас этот выше, чем почва богаче питательными веществами, тем ценность ее больше. Относительно носовских почв валовой анализ показывает, что они сравнительно богаты калием, кальцием и магнием; содержание же остальных питательных элементов и в том числе наиболее существенных в сельском хозяйстве — азота и фосфора — сравнительно низкое. Так, валовое содержание азота в пахотном горизонте этих черноземов достигает всего лишь около 0,2%, между тем как в тучных черноземах оно бывает более 0,5%; по содержанию азота в этом горизонте носовские почвы очень близки к подзолистым, выгодно отличаясь, однако, от них значительно бо́льшим богатством азота в нижележащих горизонтах: в то время как у подзолистых почв уже в подпахотном горизонте (на глубине 20—30 *см*) общего азота содержится лишь ничтожное количество (сотые процента), в носовских почвах такие ничтожные количества обнаруживаются только на глубине около 1 *м*.

Для суждения о запасах валового азота в почвах Носовской станции, об их богатствах азотом, интересно сравнить запасы его на 1 десятине (или на 1 *га*) в верхнем слое, глубиной до 1 *м* этих почв, с запасами в других почвах, например, у тучного чернозема (Тульской губернии) и подзолистой лесной почвы (Вологодской губернии): в тучном черноземе этот запас достигает 1800 пудов на десятину (27 000 *кг/га*), в носовских почвах до 1100 пудов (17 000 *кг/га*) и в подзолистой почве до 600 пудов (9200 *кг/га*).

Мы видим, что по общему запасу азота в том слое, откуда растения могут еще черпать питательные вещества, носовские почвы значительно беднее, нежели тучные черноземы, но, с другой стороны, значительно богаче подзолистых почв. Если теперь принять во внимание количество азота, уносимое ежегодно из почвы убираемыми урожаями (хороший урожай ржи — около 100 пудов зерна на десятину, уносит с десятины около 2,5 пуда азота), то увидим, что запасы азота в носовских почвах, несмотря на то что они между черноземными почвами являются одними из наиболее бедных этим веществом, колоссальны.

Валовое содержание в носовских почвах фосфорной кислоты достигает в пахотном слое до 0,1%; книзу это содержание постепенно понижается, достигает на глубине примерно 1 *м* от поверхности минимума (около 0,07%), а дальше книзу снова повышается (на глубине около 2 *м* фосфорной кислоты найдено около 0,08%). Таким образом, мы видим, что ход изменения содержания валовой фосфорной кислоты в почвах с углублением иной, нежели в случае азота; там мы имели максимум содержания в самом верхнем горизонте, а затем количество азота с углублением постепенно и параллельно уменьшению количества гумуса падало и на глубине примерно 1 *м* достигало почти нуля.

Различие обусловлено тем, что азот в почвах, можно сказать, почти целиком (кроме ничтожных следов, составляющих около 0,001% от веса почвы) находится в виде органических соединений, т. е. в гумусе почвы, в материнской же породе его нет, поэтому его распределение в вертикальном разрезе почвы то же, что и гумуса; источником же фосфора в почвах является материнская порода, ее фосфорнокислые соединения, и во всем почвенном разрезе содержание фосфорной кислоты поэтому приблизительно одинаковое; в верхних горизонтах ее обычно несколько больше вследствие так называемой аккумулятивной (собирательной) деятельности растений; растение своими корнями собирает питательные вещества, а в том числе и фосфорную кислоту, из различных слоев почвы и, между прочим, из довольно глубоких, и переносит их в надземные свои части и в верхнюю, самую мощную часть корневой системы, поэтому верхний горизонт почвы вместе с обогащением гумусом, а значит и азотом, постепенно все больше и больше обогащается и такими питательными элементами, как фосфор, сера, кальций, калий; само собой разумеется, что аккумулятивная деятельность растений в девственных почвах, где урожаи не убираются, значительнее, нежели на почвах культурных, с которых надземная, а иногда и подземная масса уносится; в последних может идти даже обратный процесс (если почвы не удобряются или удобряются слабо) постепенного обеднения пахотного горизонта питательными элементами.

Процентное содержание валовой фосфорной кислоты в носовских почвах сравнительно низкое; правда, встречаются почвы еще значительно беднее общим фосфором; так например, по анализам многочисленных образцов почв бывших остзейских губерний, произведенных проф. Томсом, там это содержание падает в некоторых случаях до 0,036% (минимум), достигая максимальной цифры 0,140%; в почвах Нижегородской губернии, анализировавшихся проф. Шмидтом, содержание валовой фосфорной кислоты колебалось от 0,40 до 0,257%.

Во всяком случае, для чернозема носовские почвы нужно признать бедными по содержанию валовой фосфорной кислоты; между черноземами встречаются такие, где валовой фосфорной кислоты больше 0,3%. Но в отношении фосфорной кислоты, как и в отношении азота, приходится признать, что, несмотря на сравнительную бедность носовских черноземов фосфором, запасы этого элемента на полях, по сравнению с теми количествами его, какие уносит с полей ежегодный урожай, очень велики: в пахотном горизонте (верхних 20 *см* почвы) содержится около 140 пудов фосфорной кислоты на десятине (около 2200 *кг/га*), а в слоях в 1 *м* толщиной — около 660 пудов на десятину (или 10 000 *кг/га*), между тем как урожай ржи в 100 пудов зерна с десятины уносит с поля всего лишь около 1,5 пуда фосфорной кислоты.

Мы остановимся еще на одном данном валового состава носовских почв,— на общем содержании в них серы. В то время как на азот, фосфор, калий и кальций, как питательные элементы, очень давно уже обратили внимание, серой в этом отношении стали заниматься сравни-

тельно очень недавно. Одной из причин такого невнимания к этому питательному элементу было отсутствие сколько-нибудь удовлетворительных методов определения серы в растительных остатках. Она определялась в золе растений, полученной обыкновенным озаливанием растительной массы, а при этом часть серы улетучивается и потому не может быть учтена анализом. Поэтому создалось мнение, что серы в растениях вообще очень мало и что той серы, которая в почвах вообще имеется, хотя ее там часто и очень мало, должно хватить для урожаев; и, во всяком случае, если растения и могут нуждаться в этом элементе на данной почве, то лишь после удовлетворения потребности этой почвы в азоте, фосфоре, калии, а может быть, и в кальции.

Таким образом, сере, как удобрительному веществу, отводили последнее место. Толчком к пересмотру вопроса о сере как питательном веществе послужили наблюдения над действием на растения серы, применявшейся для борьбы с болезнями растений. Были разработаны новые методы определения серы в растительном веществе и в почвах, дающие возможность переводить органическую серу в сульфаты, в виде которых она определяется без потери. Теперь имеется уже громадная литература по вопросу о содержании серы в растениях, в почве, о потребности почв в сернокислом удобрении, о различных побочных влияниях удобрения почвы серой в различных формах ее соединений на почвенные процессы и на растение. Теперь мы знаем, что содержание серы в растениях вовсе не так мало, как это предполагалось раньше; оказалось, что в общем содержание серы (выраженной в виде SO_3) в растениях приблизительно такое же, как и фосфора (выраженного в P_2O_5); в некоторых растениях оно больше, в других меньше, чем P_2O_5. Исследование почвы показало, что в них очень часто содержится серы значительно меньше, чем фосфора; поэтому вопрос о потребности почвы в сернокислых удобрениях заслуживает полного внимания.

Валовое содержание серы в носовских почвах достигает почти такой же величины, что и фосфора (0,1% SO_3 в верхнем горизонте, книзу оно понижается); главная масса серы находится здесь, по-видимому, в форме органических соединений; в виде серной кислоты ее здесь, очевидно, мало. В общем это содержание должно быть признано небольшим, и носовские почвы приходится считать если не бедными этими элементами, то, во всяком случае, не отличающимися богатством. Укажу, что в вегетационных сосудах носовская почва нуждается в серной кислоте, и больше, чем в калии.

Нам остается еще сказать несколько слов о данных водных вытяжек, поскольку они характеризуют основные свойства почвы (обсуждение этих данных с точки зрения плодородия носовских почв будет сделано дальше); те очень немногие почвенные разрезы, которые изучались водными вытяжками, оказались незасоленными легкорастворимыми солями (т. е. сульфатами и хлоридами); только в одном случае на значительной глубине (260 *см*) обнаружены следы хлора. Кроме того, водные вытяжки показали, что исследовавшиеся образцы почвы были и не солонцеваты.

Заканчивая вопрос об основных свойствах носовских почв, необходимо указать, что для достаточного суждения вообще об этих почвах (а не только об исследованных образцах) мы располагаем еще очень малым количеством данных; благодаря сильно выраженному микрорельефу (поверхность испещрена мелкими углублениями, «блюдцами» — с диаметром в несколько сажень, имеющих глубину до $^1/_2$ сажени), создающему неодинаковые условия увлажнения почв в различных местах, почвенный покров территории Носовской станции в отношении морфологии и основных своих свойств отличается большой пестротой; одной из ближайших задач Станции является изучение основных свойств этих почв в зависимости от микрорельефа. Агрохимический отдел давно уже ясно сознает необходимость такого исследования, но недостаток средств (химические анализы почв требуют много времени и стоят дорого) не давал возможности еще вплотную приступить к этой важной задаче. Для носовских почв такое исследование имеет особое значение в целях выяснения тех агрономических особенностей этих почв, которыми эти почвы обладают, по-видимому, вследствие того, что они были когда-то засоленными, а затем солонцеватыми.

Глава 3. СОЛОНЦЕВАТЫЕ ПОЧВЫ РАЙОНА НОСОВСКОЙ СТАНЦИИ И ГЕНЕЗИС НЕСОЛОНЦЕВАТЫХ ПОЧВ ЭТОГО РАЙОНА

Агрохимический отдел Носовской станции занимался изучением не только почв так называемого Носовского плато, в центре которого расположены поля Станции, но он особое внимание обратил на почвы находящегося в районе Станции Макиевского опытного поля, расположенного на почвах, носящих название солонцов и солонцеватых почв; особое внимание пришлось обратить на эти почвы, потому что они довольно широко распространены в области днепровского ледникового языка и их особое свойство — «солонцеватость» — резко отражается и именно в неблагоприятном отношении на их культурных свойствах (более или менее высокая солонцеватость делает почву вовсе непригодной непосредственно для сельскохозяйственной культуры, а даже слабая солонцеватость уже понижает сельскохозяйственную ценность почвы).

Кроме того, имеется полное основание предполагать тесную генетическую связь между носовскими несолонцеватыми черноземами и даже шире — между вообще несолонцеватыми почвами области днепровского ледникового языка и солонцами; поэтому детальное изучение нынешних солонцеватых почв этой области мы считаем необходимым для выяснения свойств всех почв этой области. Для выработки мероприятий по улучшению этих почв и приемов сельскохозяйственной культуры, подходящих к такому состоянию почвы, Опытному полю, очевидно, надо познать природу этих почв, их основные свойства. Для того, чтобы полученные результаты и делаемые из них выводы были вполне понятны, я должен уклониться в сторону и изложить в самых общих чертах, и примени-



Схематическая карта четвертичных отложений Украины. Составил Г. Махов. 1923 г., Киев

тельно именно к почвам, элементы учения о коллоидальном состоянии вещества; это тем более необходимо нам, что и упомянутое выше учение о поглощающем почвенном комплексе и о поглотительной способности почвы без этого не может быть достаточно понятно; это же потребуется и при изложении агрономических особенностей носовских почв.

КОЛЛОИДАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

Во всякой почве в том или другом количестве имеется механическая фракция, носящая название ила и содержащая частички, диаметр которых меньше 0,001 *мм* (или 1 *мкм*). Само собой понятно, что сама илистая фракция состоит из частиц различного диаметра — от 0,001 *мм* и ниже до молекулярных размеров, т. е. примерно до 0,000001 *мм* (или до 1 *ммк*) и может быть поэтому сама разбита на отдельные фракции; это разделение илистой фракции, или так называемый ультрамеханический анализ, начал входить в употребление лишь в самое последнее время; технически он еще недостаточно разработан и требует для своего производства много времени. Однако он представляет очень большой интерес для изучения свойств почвы, так как в этой илистой фракции содержится та часть почвы, которая носит название коллоидальной части почвы. Она содержит те вещества почвы, которые находятся в коллоидальном состоянии.

Что же такое коллоидальное состояние вещества? Самое простое определение этого состояния, особенно пригодное для наших целей, такое: коллоидальное состояние вещества есть состояние известной степени раздробленности, а именно, если вещество раздроблено таким образом, что частицы его имеют размеры меньшие, чем приблизительно 0,1 *мкм* (или 0,0001 *мм*), бо́льшие, чем размеры его молекулы (т. е. больше примерно 0,001 *мкм*), то вещество это будет в коллоидальном состоянии. Теперь доказано, что всякое вещество можно получить в коллоидальном состоянии, если только суметь раздробить его в пределах вышеуказанной степени дисперсности (степень раздробленности иначе называется степенью дисперсности) или наоборот, если суметь у тела, находящегося в молекулярном состоянии, понизить степень раздробленности и довести ее до тех же пределов (т. е. между 0,1 и 0,001 *мкм*).

В настоящее время уже разработан целый ряд методов как той (методы дисперсионные), так и другой (методы конденсационные) категории, и этими методами очень многие уже вещества получены в коллоидальном состоянии; благодаря особым свойствам, приобретаемым веществом в коллоидальном состоянии, очень многие соединения, искусственно полученные в таком состоянии, приобрели весьма широкое применение в различных отраслях техники и медицины. Вследствие этих особых свойств коллоидально раздробленных веществ коллоидальная часть почвы особенно и интересует нас. Каковы же эти особые свойства, приобретаемые веществом тогда, когда степень его раздробленности находится в пределах примерно от 0,1 и до 0,001 *мкм*?

ГЛАВНЕЙШИЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ В КОЛЛОИДАЛЬНОМ СОСТОЯНИИ

Внесу прежде всего некоторое ограничение в рассматриваемой нами области. Дело в том, что в коллоидальном раздроблении может быть и твердое, и жидкое, и газообразное тело; таким образом, коллоидально-раздробленное тело (так называемая дисперсная фаза) может быть в любом из этих состояний; мы будем рассматривать лишь случай, когда дисперсная фаза находится в твердом состоянии. Затем дисперсная фаза в природных условиях всегда будет находиться в какой-нибудь среде (так называемая дисперсионная среда): в газообразной (например, мелкая пыль в воздухе), в жидкой (например, коллоидальная часть почвы, взмученная в воде), и, наконец, в твердой; первой и последней среды мы касаться вовсе не будем. Таким образом, мы будем в дальнейшем иметь дело с такой лишь дисперсной системой: раздробленное твердое тело (дисперсная фаза) в жидкой среде (дисперсионная фаза), и именно в воде.

Удельная поверхность. Остановимся прежде всего на величине поверхности коллоидально-раздробленного тела. Возьмем, например, кубик из калиевого полевого шпата, ребро которого равно 1 *см*; объем его будет 1 *см*^{3}, а поверхность 6 *см*^{2}. Если теперь этот кубик разбить на меньшие, имеющие каждый ребро в 1 *мм*, то получим 1000 кубиков, с общим тем же объемом в 1 *см*^{3}, а с общей поверхностью уже не в 6, а в 60 *см*^{2}. Таким образом, когда кубик раздробляется так, что *у получающихся меньших кубиков ребро становится в 10 раз меньше, то сумма поверхностей всех мелких кубиков увеличивается в 10 раз.*

Зная этот закон увеличения поверхности при раздроблении, можем вычислить величину общей поверхности всех кубиков, если наш первоначальный кубик с ребром в 1 *см* раздробится на кубики каждый с ребром в 0,0001 *мм*; первоначальное ребро уменьшилось в 0,00001 раз, значит сумма поверхностей всех полученных кубиков с ребром в 0,0001 *мм* будет $6 \times 100\,000 = 600\,000$ *см*^{2}, или 60 *м*^{2}. Если ребро кубика уменьшить до высшего предела коллоидального раздробления, т. е. до 0,000001 *мм,* то общая поверхность всех кубиков увеличится еще в 100 раз, т. е. будет равна 60 000 000 *см*^{2}, или 6000 *м*^{2}.

Если назвать удельной поверхностью частное от деления величины поверхности тела, выраженной в квадратных сантиметрах, на величину объема этого тела, выраженного в кубических сантиметрах, то, как видим, удельная поверхность целого кубика в 1 *см*^{3} будет равна 6, а удельная поверхность всех полученных из него кубиков с размерами ребра от 0,0001 до 0,000001 *мм* будет равна от 6×10^5 до 6×10^7. Таким образом, *удельная поверхность тела, если его раздробить коллоидально, чрезвычайно сильно увеличивается и может достигать колоссальных размеров.* Поэтому все те процессы, интенсивность которых находится в зависимости от величины поверхности твердого тела, протекают в таком

теле, при его коллоидальном раздроблении, во много раз энергичнее, чем при грубораздробленном его состоянии, и притом тем энергичнее, чем мельче коллоидальное раздробление, т. е. чем степень дисперсности его выше и чем она, значит, ближе к молекулярной. Постараемся применить сказанное к почве.

Роль коллоидальной части почвы в реакциях почвы с почвенной влагой. Ясно, что в отношении плодородия почвы, т. е. в отношении количества содержащихся в почвенном растворе питательных веществ, было бы наиболее благоприятно, если бы все питательные вещества почвы были легкорастворимы в воде; но, очевидно, с другой стороны, что такое состояние питательных веществ в почве привело бы к весьма печальным последствиям: во влажных областях эти питательные вещества были бы скоро вымыты из почвы, а в почве остались бы только нерастворимые и непитательные соединения, почва скоро бы стала бесплодной, причем питательное ее богатство не было бы, конечно, использовано растительностью,— ушло бы в моря и океаны; в сухих же областях такая почва оказалась бы, именно вследствие своего большого плодородия, совершенно некультурной; это был бы злостный солончак, растения на нем не могли бы расти вследствие высокой концентрации питательных соединений.

Очевидно, что почва, как подходящая для растений культурная среда, причем среда, рассчитанная на многие тысячелетия, должна содержать питательные элементы в виде очень трудно растворимых соединений; в таком направлении и должны были идти процессы образования земной коры на основании законов химического взаимодействия между соединениями; при этом, конечно, должно страдать плодородие почвы. И вот, оказывается, что имеется некоторое среднее состояние между труднорастворимым или нерастворимым в воде твердым телом, горной породой, содержащей питательные элементы, и легкорастворимыми соединениями этих же элементов; это также труднорастворимая горная порода, но только достаточно мелко распыленная, и когда эта распыленность находится в пределах коллоидальной дисперсности, то в той или другой степени (в зависимости от многих других условий) удовлетворяются оба необходимые условия для развития растений: обеспеченность на длительный период и в достаточной мере в каждый момент растворенными питательными веществами и такая сравнительно невысокая концентрация питательных соединений в почвенном растворе, при которой растения могли бы развиваться.

Если бы в почве калиевый полевой шпат содержался только в виде кусков размерами, например, не меньше 1 *см*^{3}, то взаимодействие между ними и водой, вследствие малой поверхности соприкосновения, было бы совершенно ничтожно; вода не извлекала бы из него калия или, вернее, извлекала бы его в таких ничтожных количествах, которые не открывались бы самыми чувствительными методами исследования и которые не могли бы использоваться растениями; таким образом, растения в присутствии больших количеств валового калия в почве, т. е.

при большом богатстве почвы калием, гибли бы от недостатка его в доступном для них состоянии; почва была бы богата калием, но совершенно неплодородна им. Но по мере раздробления полевого шпата поверхность соприкосновения его с водой будет возрастать, пропорционально этому будет увеличиваться и результат действия воды — количество калия, извлекаемого водой из полевого шпата; когда степень распыления будет такой, что частички полевого шпата достигнут коллоидальных размеров, то поверхность соприкосновения с водой, а вместе с ней и результат взаимодействия воды и полевого шпата возрастут уже настолько, что, как бы мало ни было то количество калия, которое вода может извлечь из полевого шпата, в случае крупных его кусков, мы получим в водном растворе такие уже его количества, что говорить о бесплодии почвы в отношении калия не придется.

Таким образом, чем почва более коллоидальна, т. е. чем больше в ней коллоидально распыленной части, тем энергичнее протекают в ней все реакции, обусловливаемые взаимодействием между почвой, с одной стороны, и почвенной влагой и растворенными в ней соединениями, с другой сторопы. *Реакционная способность почвы сосредоточена по преимуществу в ее коллоидальной части; чем больше эта часть почвы, чем выше дисперсность этой части, тем более почва деятельна и более плодородна.*

Энергия поверхности. Достаточная степень раздробленности твердого тела в системе: твердое тело и вода является причиной того, что в такой системе приобретает значение особый вид энергии — энергия поверхности. Под энергией понимается способность производить работу; должна быть, значит, налицо сила, способная производить такую работу. Вот такой силой, обусловливающей энергию поверхности, является сила, возникающая на поверхности соприкосновения, например, жидкости и твердого тела, так называемая сила поверхностного натяжения, или просто поверхностное натяжение. Способность какой-либо системы, состоящей из твердого тела в жидкости, производить работу за счет этой силы, или энергия поверхности, будет пропорциональна величине поверхностного натяжения в рассматриваемой системе и величине самой поверхности твердого тела; поэтому величина энергии поверхности выражается произведением силы поверхностного натяжения на величину поверхности.

Сила поверхностного натяжения воды есть величина сравнительно очень небольшая. Поэтому в системах, где твердое тело имеет малоразвитую поверхность вследствие крупнораздробленного состояния (системы макродисперсные), энергия поверхности представляет ничтожную величину; системы эти управляются внутренней энергией (тепловая энергия, электрическая и др.). Если же в системе очень сильно развита поверхпость соприкосновения, то произведение из силы поверхностного натяжения (малая величина) на поверхность (очень большая величина), т. е. энергия поверхности, может быть очень значительна. Такой случай имеет место в системах микродисперсных и особенно в ультрамикродисперсных. В этих системах энергия поверхности может значительно

преобладать над внутренней энергией, и процессы в этих системах могут управляться главным образом энергией поверхности. Существование в коллоидальной части почвы этой энергии поверхности делает возможным сильное проявление взаимодействия между твердым телом — почвой — и почвенным раствором.

Клеющая способность коллоидов. Коллоидальные частички по величине своей приближаются к молекулам, и тем они ближе к ним, чем выше дисперсность этих частиц; поэтому между коллоидальными частицами проявляется еще притягательное действие молекулярных сил; если две коллоидальные частицы сблизятся между собой в достаточной степени, то они соединятся, дав прочно склеенный агрегат; если таких частичек будет достаточно и если размеры их достаточно малы, то они будут не только склеиваться между собою, но смогут явиться цементом, склеивающим более крупные частички; применительно к почве можно сказать, что коллоидально распыленная ее фракция может при соответствующих условиях образовать из себя системы агрегатов (комочков) и цементировать, как показывают наши исследования, в агрегаты более крупную часть илистой фракции (частицы размерами между 0,001—0,0001 *мм*) и даже мелкую и среднюю пыль (частицы с диаметром 0,005—0,001 и 0,01—0,005 *мм*), очень прочные в отношении распыляющего действия воды. *Эта клеющая и цементирующая способность коллоидальной части почвы обусловливает то свойство почвы, которое известно в почвоведении под именем структурности и которое, как мы увидим ниже, оказывает громадное влияние на физические и агрономические свойства почвы.*

Изменение состояния в коллоидальных системах. Следующим вопросом в изучении коллоидально раздробленного состояния материи, на котором нам надо остановиться, чтобы ясно понимать почвенные процессы, будет вопрос об изменениях, какие могут происходить в коллоидальной системе, состоящей из воды и твердых коллоидальных частиц.

Взятая нами система отличается вообще непостоянством; неустойчивость является характерной особенностью коллоидального состояния вещества; оно чрезвычайно отзывчиво иногда на самые ничтожные изменения внешних условий; даже в условиях полного покоя и возможного постоянства окружающих условий коллоидальная система может изменяться, «стареть». Так, например, коллоидально взвешенные частички твердого вещества в воде, распределенные там первоначально равномерно, будут постепенно, хотя и очень медленно, в зависимости от своей величины, опускаться под влиянием силы тяжести на дно сосуда. Неустойчивость коллоидальных систем есть результат обладания большим запасом свободной энергии в виде энергии поверхности; в таких системах самопроизвольно протекают такие процессы, при которых количество свободной энергии понижается. А понижение свободной энергии поверхности в данной системе может произойти от уменьшения величины тех двух множителей, произведение которых дает эту энергию, т. е. поверхностного натяжения или поверхности коллоидально раздробленного вещества. Нам сейчас интересен последний случай — изменения в со-

стоянии коллоидальной системы (вода и коллоидально раздробленное тело), происходящие с уменьшением поверхности дисперсной фазы.

Свертывание, или коагуляция коллоидов. Мы здесь будем иметь в виду главным образом почвенные коллоиды. Если у нас имеется, например, коллоидально распыленный полевой шпат (или другой какой-нибудь минерал почвы) в воде, то отдельные его частички, находясь в непрерывном беспорядочном движении (броуновское движение), постоянно будут сталкиваться между собою; ясно, что вследствие молекулярного притяжения между ними приблизившиеся частички склеились бы между собою, и очень быстро вместо отдельных коллоидальных частиц мы получили бы их агрегаты, которые, достигнув определенной величины, стали бы падать на дно сосуда; произошло бы то явление, которое носит название свертывания, или коагуляции коллоидально растворенных веществ. Если, однако, такое свертывание не происходит и полевой шпат в продолжении многих лет остается взмученным в воде, то, очевидно, имеется какой-то фактор, мешающий свертыванию, поддерживающий (стабилизирующий) нашу систему в ее состоянии. Таким стабилизатором в коллоидальных системах является электрический заряд коллоидальных частиц. Все коллоидальные частицы в дисперсной системе заряжены одноименным электричеством, или положительным, или отрицательным, что находится в зависимости главным образом от природы коллоидального вещества.

Громадное большинство почвенных коллоидов заряжены отрицательным электричеством («отрицательные» коллоиды); из положительно заряженных («положительные» коллоиды) некоторое значение имеют в почвенных процессах коллоидально распыленные гидраты окиси железа и алюминия; поэтому в общем почвенные коллоидально распыленные частички нужно отнести к отрицательным коллоидам.

Электрический заряд коллоида предохраняет его от свертывания, потому что одноименно заряженные частички коллоида отталкиваются, что мешает им давать агрегаты. Поэтому все те условия или факторы, которые будут увеличивать отрицательный заряд почвенных коллоидально распыленных частиц, будут вместе с тем способствовать сохранению этих частиц в распыленном состоянии; это будут факторы стабилизирующие. Обратно, факторы, понижающие отрицательный заряд почвенных коллоидов, препятствуют существованию этих коллоидов в виде отдельных распыленных частиц и способствуют, значит, их свертыванию, образованию из них агрегатов. Это факторы, инстабилизирующие коллоидально распыленное состояние.

К таким инстабилизирующим факторам относятся все электролиты, т. е. соли, кислоты и щелочи. Если к коллоидальной системе, состоящей из воды и коллоидально распыленного полевого шпата (отрицательный коллоид), прибавлять раствор любого электролита, то полевой шпат свернется, т. е. даст более крупные агрегаты, которые упадут на дно сосуда; для того, чтобы электролит подействовал таким образом, концентрация его в воде коллоидальной системы должна быть выше

некоторой величины, носящей название **электролитического порога** и зависящей при одном и том же коллоиде от рода электролита, а при разных коллоидах — и от природы коллоидального вещества.

Действие электролита здесь можно представить себе так: в водном растворе электролит, например Na_2SO_4, распадается на ионы натрия (катионы), заряженные положительно, и ионы серной кислоты (анионы), заряженные отрицательно; положительно заряженные катионы, в данном примере катионы натрия, нейтрализуют отрицательно заряженные коллоидальные частички полевого шпата, стабилизирующее действие электрического заряда коллоида прекращается и происходит его коагуляция. Таким образом, в свертывании коллоидальных частиц принимает участие не весь электролит, а только один из его ионов: если коллоид отрицательный, то катион, если положительный, то анион. *А так как почвенные коллоидально распыленные вещества в общем, как указывалось выше, имеют отрицательный заряд, то их осаждает катион электролита.*

Осаждающая сила различных катионов не одинакова, т. е. не одинакова у разных катионов та наименьшая концентрация катиона в растворе, при которой он уже свертывает коллоид. Исследование этой концентрации в отношении почвенных коллоидов показывает, что

1) чем выше значность катиона, тем сильнее его осаждающее действие; например, натрий (металл однозначный) свертывает слабее магния (двузначный), а последний слабее железа (трехзначный);

2) катионы с одинаковой значностью свертывают тем сильнее, чем выше их атомный вес; так, натрий (атомный вес 23) свертывает слабее калия (атомный вес 39); магний (атомный вес 24) слабее кальция (атомный вес 40) и т. д.;

3) вышеприведенным законностям не подчиняется катион водорода; хотя он однозначен и с наименьшим атомным весом, но осаждающее действие его сильнее, чем натрия, калия и магния и примерно такое, как у кальция;

4) анион электролита не только не осаждает отрицательно заряженные коллоиды, но противодействует осаждающему действию катиона; противодействие это вообще слабее осаждающего действия катиона, поэтому соль и может осаждать; но среди анионов имеется один, а именно гидроксильный ион OH, т. е. анион щелочей (например NaOH), который, между прочим, имеется в растворе соды и который в очень сильной степени противодействует осаждающему действию катионов, т. е. *является сильным стабилизирующим фактором коллоидального состояния почвенных частиц.*

Осаждающее действие электролитов играет очень существенную роль в физических свойствах почвы. В почвенной влаге всякой почвы растворены различные электролиты (соли натрия, калия, магния и кальция); могут быть в растворе и кислоты, т. е. соединения, имеющие водородный ион, и щелочные соединения, имеющие гидроксильный анион; с другой стороны, во всякой почве мы имеем то или другое количество коллоидально распыленных веществ; будут ли эти коллоидально распыленные

частички во влажной почве находиться в виде отдельных частичек, или в той или другой степени мы будем иметь их в виде агрегатов, все это будет находиться в зависимости, между прочим, от того, какие электролиты из вышеназванных и в каких количествах находятся в почвенном растворе; если почвенный раствор богат ими, то коллоидальные вещества почвы будут в виде агрегатов; если очень беден, то коллоиды будут в виде отдельных мелких частичек; если почвенный раствор кисел, то в нем может содержаться сравнительно мало солей, и коллоиды будут все-таки свернуты, потому что катион кислот H обладает очень высокой свертывающей способностью; с другой стороны, если раствор этот щелочен (содержит гидроксильный ион), то солей в растворе должно быть значительно больше для свертывания, чем если бы почвенный раствор был нейтрален.

Состояние же коллоидов в почве, т. е. свернуты ли они там или находятся во влажной почве в виде отдельных самостоятельных частиц, чрезвычайно сильно влияет на физические свойства почвы (и, между прочим, на водный и воздушный режим); в зависимости от этого почва будет вести себя то как менее глинистая (если коллоиды свернуты), то как более глинистая (если коллоиды не свернуты).

Коллоидально распыленные вещества могут свертываться не только при действии на них электролитов, но и под влиянием других факторов; в отношении почв существенное значение имеет свертывание их под влиянием испарения дисперсионной среды, т. е. почвенной влаги. Когда почва высыхает, то ее коллоидальные частички постепенно, по мере уменьшения влаги в почве, склеиваются между собою, а если их достаточно в почве, то они, кроме того, склеивают, цементируют и более крупные (неколлоидальные) почвенные частички, и потому сухая почва распадается не на отдельные составляющие ее механические элементы, а на агрегаты их, на так называемые структурные элементы (или структурные отдельности); величина и форма этих отдельностей находится в зависимости от соотношения между величиной неколлоидальной части почвы (вся часть почвы крупнее 0,0001 *мм* или, приближенно можно сказать, крупнее 0,001 *мм*) и коллоидальной ее части (часть почвы мельче 0,0001 *мм* или, приближенно, мельче 0,001 *мм*, т. е. илистая фракция); кроме того, то и другое зависит от состава неколлоидальной части почвы, которая в одних почвах может быть более песчанистой, а в других более глинистой.

Ясно, чем крупнее неколлоидальная часть почвы, тем труднее ей сцементироваться в крупные агрегаты, т. е. тем больше в почве должно быть цементирующих коллоидальных веществ; а так как в почвах вообще коллоидальная часть не велика, то песчаные почвы, т. е. почвы с сравнительно большим содержанием частиц больше 0,01 *мм*, вообще неструктурны; в сухом состоянии они легко распадаются на отдельные составляющие их зерна (механические элементы) или мелкие комплексы (агрегаты, комочки) их. Структурность есть свойство более мелкозернистых почв, суглинков и глинистых почв.

При изложении в дальнейшем агрономических свойств носовских почв и солонцеватых почв Макиевского опытного поля мы подробнее остановимся на структурности и покажем на этих частных случаях громадное значение коллоидальной части почвы в явлении структурности и во всех проявлениях почвы, связанных с этим явлением.

Оптические свойства коллоидальных растворов. Из других общих свойств, присущих коллоидально раздробленному состоянию вещества, мы остановимся только на оптических свойствах.

Граница между частицами коллоидальной величины и более крупными (около 0,1 *мкм*) приблизительно совпадает с границей так называемого «микроскопического видения»; в обычном даже самом сильном микроскопе отдельные коллоидальные частицы не видны; поэтому в таком микроскопе «коллоидальный раствор», или золь, т. е., например, вода со взвешенными в ней коллоидальной величины почвенными частичками, представляется в виде совершенно однородной жидкости, так же как, например, раствор поваренной соли в воде, т. е. молекулярный (ионный), или «истинный» раствор. Поэтому с помощью обыкновенного микроскопа нельзя установить, имеем ли мы дело с коллоидальным или истинным раствором. В некоторых случаях коллоидальная природа раствора легко устанавливается уже на глаз; так, если в воде находятся во взмученном состоянии минеральные коллоидальные частицы почвы даже высокой степени дисперсности, то, по крайней мере в известных пределах концентрации, жидкость будет на вид мутной; органические же почвенные коллоидальные частицы в воде обычно мути не показывают; такие системы кажутся совершенно прозрачными.

Для установления коллоидальной природы раствора может служить особый вид микроскопа, называющийся ультрамикроскопом; предмет рассматривается в обычном микроскопе с приспособлениями, позволяющими производить наблюдение в темном поле зрения при усиленном боковом освещении предмета; при этом коллоидальные частицы, сильно освещаясь, окружаются световым ореолом; получается как бы увеличенная частица, которая и становится поэтому видимой в микроскоп. Но и в ультрамикроскопе, при очень мелких коллоидальных частичках не происходит уже расчленения; может появиться только так называемый световой конус, а может и он отсутствовать, и коллоидальный раствор будет казаться также оптически однородным, как и молекулярный. В таких случаях наиболее достоверным критериумом коллоидальной природы раствора может служить свертывание его при действии электролитов.

Если определенно известно, что взятая соль не может вступать в химическую реакцию с веществом, исследуемым на коллоидальную природу его раствора, и тем не менее прибавка раствора этой соли вызывает осадок в растворе этого вещества, то можно с большой достоверностью считать, что это вещество «коллоидально» растворено в воде, что в растворе это вещество находится не в виде отдельных молекул, а в виде комплексов молекул (коллоидальных частиц). Так например, если насытить гумусную почву натрием (см. ниже), обработав ее раствором

хлористого натра, а затем удалить промыванием водою бо́льшую часть оставшегося в почве хлористого натра, то при дальнейшем промывании водою начнет переходить в раствор большое количество гумуса в виде гуминовокислого натра черного цвета. От прибавления к такой черной совершенно немутной жидкости концентрированного раствора поваренной соли по прошествии некоторого времени выпадает черный хлопьевидный осадок; так как какой-либо химической реакции между гуматом натрия и хлористым натром представить себе трудно, то раствор гуминовокислого натра в воде приходится считать не истинным, а коллоидальным.

КОЛЛОИДАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПОЧВЫ

Вышеизложенных кратких сведений, относящихся к коллоидальному состоянию вещества, вообще еще недостаточно для понимания тех почвенных свойств и тех почвенных процессов, которые изучались Агрохимическим отделом Носовской сельскохозяйственной опытной станции и которые в значительной степени связаны с состоянием коллоидальной части изучавшихся почв; нам необходимо прежде ближе познакомиться с этой частью почвы.

Мы знаем, что почва представляет весьма сложную смесь разнообразных органических и минеральных соединений; какие же из этих соединений могут быть в коллоидальном состоянии? Из данного раньше определения этого состояния вещества как состояния известной степени раздробленности вытекает, что всякое почвенное соединение, раз степень раздробления его находиться в пределах между 0,0001 и 0,0000001 *мм*, будет находиться именно в коллоидальном состоянии, а необходимым условием для этого является очень трудная растворимость соединения, поэтому все почвенные соединения, возникающие в почве в процессах всех видов выветривания и отличающиеся очень малой растворимостью в воде, могут в том или другом количестве быть в почве в коллоидально распыленном состоянии. Таким образом, в коллоидальной части почвы могут участвовать разнообразные органические соединения, простые и сложные силикаты, кремнекислота, гидраты окиси железа, алюминия, марганца. Из каких именно соединений состоит коллоидальная часть данной почвы и в каких количествах каждое из них входит в эту часть, на этот вопрос почвоведение не может еще в настоящее время дать ответа: мало того, мы еще не можем точно определить общее количество коллоидальных веществ почвы; можем лишь приблизительно указать эту величину, с разделением ее на органические и минеральные коллоиды; это потому, что и сама коллоидальная химия — наука очень молодая, а изучением почвы с коллоидальной точки зрения в широком масштабе занялись лишь в самые последние годы.

Почвенный поглощающий комплекс. Мы уже упоминали выше о поглощающем почвенном комплексе; коллоидальная часть почвы и представляет собою именно этот поглощающий почвенный комплекс; общая величина его в различных почвах очень неодинакова; чем почва более

богата гумусом и чем она глинистее, тем больше в ней поглощающий комплекс; у почв песчаных и бедных гумусом величина его может спускаться ниже 1%; у глинистых тучных черноземов она может достигать 50%, а может быть и выше. В носовских и макиевских почвах поглощающий почвенный комплекс, вследствие малой их гумусности и свойственного им механического состава (легкий суглинок), очень незначителен; непосредственных определений его еще не имеется, но, судя по косвенным данным (например, по количеству поглощенных оснований и по величине илистой фракции), его в этих почвах всего около 3—4%.

Физико-химическая поглотительная способность почвы. Весьма существенным свойством соединений (как органических, так и минеральных), входящих в состав почвенного поглощающего комплекса, является их (или большинства их) солеобразный характер, т. е. то, что они состоят из катиона (металла или водорода) и аниона (кислотного радикала); это свойство в связи с коллоидальным состоянием этих веществ в почве, придающим им высокую реакционную способность, является причиной того вида * поглотительной способности почвы, которая носит название физико-химической, или обменной (или поглотительной способности в тесном смысле этого слова), и которая в почвенных процессах и в свойствах почвы играет весьма важную роль.

Благодаря этой поглотительной способности часть катионов поглощающего комплекса, а именно катионы тех молекул, которые расположены на поверхности коллоидальных частиц комплекса, могут обмениваться своим местом с катионами солей почвенного раствора или того раствора, с которым приводят почву в соприкосновение; катионы из раствора вступают в коллоидальную частичку поглощающего комплекса (или, точнее, в молекулы, расположенные на поверхности частички), а вытесняющиеся ими оттуда в эквивалентном количестве катионы коллоидальной частички переходят на их место в раствор; происходит, одним словом, та реакция, которая в химии носит название реакции взаимного обмена. Те катионы поглощающего почвенного комплекса, которые могут быть вытеснены из почвы, носят название *поглощенных катионов*.

Из законов, управляющих этой реакцией, мы отметим следующие.

1. Реакция взаимного обмена катионами между поглощающим почвенным комплексом и солями раствора протекает моментально; тотчас же после соприкосновения обмен происходит до возможного при имеющихся условиях конца; сколько бы дальше ни оставалась почва в соприкосновении с тем же раствором, дальнейшего обмена происходить уже не будет.

2. Количество поглощенных почвой из раствора катионов в точности эквивалентно количеству вытесненных из почвы катионов; так, если из

---

* Различаются несколько видов поглотительной способности почвы. Для наших целей нам нужно остановиться только на физико-химической (или обменной) поглотительной способности.

раствора поглощается натрий, а из почвы вытесняется кальций, то на 23 (атомный вес натрия) единицы поглощенного натрия всегда вытесняется 20 единиц кальция — половина атомного веса кальция, половина потому, что кальций — элемент двузначный, а натрий — однозначный).

3. Количество поглощаемых почвою из раствора катионов находится в зависимости от количества в почве поглощенных катионов, от состава и концентрации катионов раствора, приводимого в соприкосновение с почвою, и от соотношения между количеством почвы и количеством воздействующего на нее раствора.

Нормальные черноземы (т. е. несолонцеватые и недеградированные) содержат в своем поглощающем комплексе только два поглощенных катиона, а именно кальций и магний, причем в общем можно считать, что кальция раза в четыре больше, чем магния; абсолютное же количество того и другого будет зависеть от величины поглощающего комплекса, которая в различных черноземах будет различна, так как находится в зависимости от содержания гумуса и от глинистости; в самых богатых черноземах поглощенного кальция содержится около 1% (от веса почвы), а магния, значит, всего около 0,2%. Носовский чернозем, как мы указывали выше, относится к черноземам, бедным поглощающим комплексом, и поглощенных катионов в нем сравнительно мало (около 0,5% Ca и 0,1% Mg).

Вследствие способности поглощенных катионов обмениваться на другие катионы, поглощенные катионы чернозема могут быть заменены любым другим катионом (или любой смесью катионов); для этого нужно только обрабатывать взятую почву раствором соли того катиона, которым желательно заменить естественно присутствующие в почве поглощенные катионы; только надо иметь в виду, что однократного приведения в соприкосновение с почвой взятого раствора недостаточно. На основании закона действия масс, как бы ни была высока концентрация взятой соли и как бы ни было велико количество ее раствора в отношении количества взятой почвы,— все количество поглощенных катионов почвы не будет сразу замещено катионом раствора; для того, чтобы достичь полного вытеснения поглощенных катионов и замещения их взятым катионом, необходимо обработку почвы раствором соли этого катиона произвести многократно: взболтать раствор с почвой и удалить отработавшую жидкость вместе с продуктами обмена (т. е. образовавшимися растворимыми солями кальция и магния) фильтрацией, после чего почву взболтать с новым количеством раствора и снова удалить отработавшую жидкость и т. д. Число таких обработок будет зависеть не только от количества берущегося раствора и концентрации растворенной в ней соли того катиона, который желательно ввести в почву вместо естественно присутствующих в ней поглощенных катионов (как говорят — «насытить почву» этим катионом), но и от природы взятого катиона.

Если одно и то же количество почвы взбалтывать (например, с растворами хлористых солей различных металлов) одной и той же концентрации (растворы одной и той же нормальности), то количество погло-

щенного катиона (а значит, и количество вытесненных им из почвы поглощенных катионов) из разных солей оказывается неодинаковым. Если назвать количество катиона, поглощаемого почвою из раствора соли при однократной обработке почвы этим раствором — энергией поглощения его почвою, то значит, оказывается, что *энергия поглощения почвою различных катионов не одинакова*. Исследование этой величины в отношении различных катионов показало нам на существование здесь следующих закономерностей.

1. Энергия поглощения катиона находится в зависимости от его значности и величины атомного веса; чем выше значность и чем выше атомный вес катиона, тем энергичнее он поглощается почвой. Поэтому катионы однозначные поглощаются слабее, чем катионы двузначные одинакового атомного веса; а катионы двузначные слабее, нежели катионы трехзначные.

2. Водородный ион представляет исключение из этого правила: хотя он однозначен и обладает наименьшим атомным весом, но поглощается сильнее других однозначных катионов (например лития, натрия, аммония) и сильнее даже, нежели двузначные катионы магния и кальция.

Катионы, встречающиеся в почвенной влаге, по величине своей энергии поглощения располагаются таким образом (в порядке возрастания): литий, натрий, аммоний, калий, магний, кальций, водород, алюминий, железо.

Легко видеть, что величина энергии поглощения почвою различных катионов управляется теми же законами, как осаждающая сила катионов в отношении почвенных коллоидальных веществ (см. выше, стр. 203), так как эти два явления — поглощение и осаждение, тесно связаны между собой.

Состав поглощенных катионов в черноземе. Принимая во внимание законы поглощения почвами катионов, легко понять, почему именно в черноземных почвах в качестве поглощенных катионов встречаются только кальций и магний и притом кальция всегда значительно больше, чем магния. Тут дело в том, что в черноземной зоне атмосферных осадков, при нормальном залегании почвы и отсутствии особых привходящих условий, обычно достаточно, чтобы удалять из почвенных горизонтов легкорастворимые соли, образующиеся в процессе почвообразования; поэтому соли эти не могли скопляться здесь, и в каждый данный момент концентрация их в почвенном растворе должна была быть очень малой; вместе с тем, условия увлажнения этих почв были недостаточными для полного удаления таких труднорастворимых простых солей, каковыми являются углекислый кальций и магний; в нормальных черноземах мы всегда найдем на той или иной глубине в почвенной толще скопления этих углесолей и главным образом карбоната кальция; почвенные растворы черноземных почв поэтому насыщены этими солями; почвообразование черноземов шло, таким образом, при очень малом содержании в почвенных водах растворимых солей натрия и калия и высоком сравнительно содержании в этих водах катионов магния и осо-

бенно кальция, поэтому естественно, что при таких условиях калий и натрий вытеснялись с поверхности мелко раздробленных частиц и замещались главным образом кальцием, как преобладающим катионом почвенного раствора, и отчасти магнием.

То же должно было происходить и с той частью поглощающего комплекса, которая возникла в этих почвах как новообразование, путем соединения между собою отдельных окислов кремния, железа и алюминия; образовавшиеся из них частички, находясь в почвенном растворе, богатом ионами кальция и магния, должны были стать насыщенными этими именно основаниями.

Солончаковые и солонцовые почвы. Иное должно было произойти в почвенных горизонтах тех мест, где условия увлажнения сложились так, что почвенная влага оказывалась богата легко растворимыми солями. Это же могло случиться там, где количество воды, просачивающееся через почву, (т. е. так называемые условия увлажнения) было недостаточно, чтобы вымыть глубоко те растворимые соли, которые могли первоначально присутствовать в материнских породах (как, например, в соленосных отложениях Арало-Каспийского моря) и которые возникли в самом процессе почвообразования или там, где имелись благоприятные условия для приноса этих солей со стороны (например, боковым подтоком почвенных вод или поднятием до поверхности почвы грунтовых вод вследствие приближения последних по условиям рельефа к дневной поверхности); одним словом, или в условиях засушливого климата (например, в нашей пустынно-степной области), или же даже и при достаточно влажном климате (как в нашей черноземной области), но при подходящих для такого засоления условиях рельефа.

Почвы, засоленные легкорастворимыми солями, носят название солончаковых почв, а при очень сильной степени засоления — солончаков. Солями, засоляющими солончаковые почвы, являются растворимые соли натрия, кальция и магния (их хлористые и сернокислые соли); соли калия между ними встречаются значительно реже. Нас сейчас интересуют лишь почвы, засоленные растворимыми солями натрия (хлористым и сернокислым натрием), как имеющие непосредственное отношение к почвам района Носовской станции. Так вот, из того, что было изложено выше о поглощающем почвенном комплексе и о поглотительной способности почвы, должно вытекать, что если черноземные почвы засолены хлористым или сернокислым натрием, то такие солончаковые почвы должны в своем поглощающем комплексе содержать, в отличие от нормальных черноземов, поглощенный натрий, так как при воздействии почвенного раствора, содержащего хлористый или сернокислый натрий, на чернозем натрий этих солей будет поглощаться почвою, становясь в поглощающий комплекс вместо кальция и магния, которые будут переходить в раствор; сколько натрия войдет в поглощающий комплекс и насколько, значит, чернозем обеднится поглощенным кальцием и магнием,— это будет зависеть от степени и характера засоления чернозема солями натрия.

Присутствие в поглощающем почвенном комплексе поглощенного на-

трия резко изменяет химические и физические свойства почвы, а значит, и агрономические их свойства; но в солончаковых почвах, покуда в них присутствует избыток легко растворимых солей, т. е. покуда они остаются засоленными, эти особые свойства почвы, вызываемые присутствием в ее поглощающем комплексе натрия, не могут проявиться; растворимые соли, если они в достаточном количестве, мешают этому проявлению, каким именно образом — это будет пояснено дальше.

Для того, чтобы присутствие натрия в поглощающем комплексе могло проявиться, солончаковая почва должна до известной степени рассолиться, бо́льшая или меньшая часть засоляющих ее солей должна быть вымыта. *Такие почвы, в поглощающем комплексе которых под влиянием засолявших их солей натрия содержится поглощенный натрий, а сами засоляющие соли в большей своей части вымыты из почвы, носят название солонцеватых почв, а при большом содержании поглощенного натрия — солонцов.*

Таким образом, если у нас имеется солонцеватая почва или солонец, то можно определенно утверждать, что раньше это была солончаковая почва или солончак, засоленный солями натрия. Солонец есть определенная фаза почвы, которой предшествовала стадия солончака. Из сказанного следует, что если нормальный чернозем естественно или искусственно засолится растворимыми солями натрия, а затем обратно, растворимые соли естественно или искусственно будут вымыты из него, то несмотря на это наша почва не вернется уже в свое начальное состояние нормального чернозема; даже самое кратковременное присутствие в ее почвенном растворе катиона натрия внесет в самое ее существо, в ее поглощающий комплекс, новое поглощенное основание — натрий, который, конечно, не будет вымыт из нее при вымывании растворимых солей; нормальный чернозем, пройдя при засолении стадию солончака, даст после своего рассоления новую стадию — стадию солонца.

Солонцеватая почва или солонец, возникая в природе путем рассоления натриевыми солями засоленной солончаковой почвы или солончака, может, конечно, снова перейти в стадию солончаковой почвы или солончака, раз она снова засолится легкорастворимыми солями. Поэтому в том случае, когда в почве происходят периодически то процессы рассоления, то процессы засоления, то такая почва будет периодически же переходить из одной стадии в другую; всякий натриевый (т. е. засоленный растворимыми солями натрия) солончак в период дождей превращается в верхних своих горизонтах, промытых дождями, в солонец; в засушливую же погоду, когда растворенные соли вследствие испарения воды концентрируются у поверхности почвы, получается снова солончак. Ясно, что в зависимости от условий погоды одна и та же почва не только может быть то солончаком, то солонцом, но и в одно и то же время у одной и той же почвы одни горизонты могут являться солончаковыми, а другие солонцеватыми.

Золи и гели в почвах. В коллоидальной химии различают два состояния коллоидального вещества: 1) коллоидальное вещество в состоянии

золя, или коллоидального раствора; в этом состоянии частички коллоидального вещества находятся каждая в отдельности, во взвешенном в дисперсионной среде (например, в воде) состоянии; 2) коллоидальное вещество в виде геля; в этом состоянии частички коллоидального вещества связаны между собою и вещество является в виде осадка того или другого вида, осадок может быть очень объемистый, содержащий большое количество тесно с ним связанной дисперсионной среды (воды); коллоиды, дающие такие осадки, носят название лиофильных, или гидрофильных, а желатинозные их осадки называются истинными гелями, или галертами. Но осадок может быть бедным водой, в виде аморфного порошка; такие осадки даются лиофобными, или гидрофобными коллоидами. Между этими двумя крайностями могут быть всевозможные переходы.

Когда происходит коагуляция, или свертывание золя под влиянием, например, электролитов, или испарение воды из коллоидального раствора, то получается осадок — гель того или другого характера, в зависимости от того, с каким коллоидом имеют дело, с гидрофильным или гидрофобным; сам процесс свертывания, в зависимости от рода коллоида, может быть обратимым или необратимым. Коагуляция называется обратимой в том случае, если по удалении причины свертывания гель снова даст с водой коллоидальный раствор — золь. Так, например, содержащийся в солонцеватых почвах гумат натрия, дающий в воде коллоидальный раствор, свертывается при действии на такой раствор хлористым натрием; получается объемистый черный гель, богатый водой, значит, мы имеем дело с гидрофильным коллоидом; если теперь слить отстоявшуюся воду, содержащую хлористый натрий, и декантацией промывать гель гумата натрия, то, удалив в достаточной степени хлористый натрий из жидкости, находящейся в геле, переведем осадок снова в золь; процесс коагуляции в этом случае обратимый, и сам коллоид — гумат натрия, называется обратимым коллоидом. То же получим, если свертывания золя гумата натрия достигнем не действием электролита, а выпариванием воды золя; оставшийся после испарения дисперсионной фазы осадок гумата натрия снова переходит в коллоидальный раствор при прибавлении воды. И здесь гумат натрия ведет себя как обратимый коллоид.

Иначе поведет себя золь гумата натрия, если осадить гель не хлористым натрием, а какой-либо растворимой солью кальция; тогда получается осадок, не способный уже после даже полного удаления из него промыванием прибавленной соли кальция давать с водой коллоидальный раствор: золь в этом случае перешел в необратимый гель; отдельные коллоидальные частички гумата в этом случае настолько прочно склеились в более крупные их агрегаты, что вода оказывается не способной их расклеить и дать золь. Дело тут в том, что кальций-ион, взятый для осаждения золя, вытеснил с поверхности коллоидальных частичек золя гумата натрия катион натрия и стал на место него; вымыть этот кальций так просто, как можно вымыть из осадка растворимую соль кальция, содержащуюся в жидкости, находящейся в порах осадков, нель-

зя, и этот кальций все время своего присутствия в гумате не позволяет воде расклеивать агрегаты коллоидальных частиц органических веществ почвы.

Подобно кальцию ведут себя и другие двузначные (магний) и трехзначные (железо и алюминий) элементы; почвенные органические коллоидальные вещества, содержащие в поглощенном состоянии двузначные и трехзначные катионы, находятся в почве в состоянии необратимого геля. Наоборот, почвенные органические коллоиды, содержащие поглощенные однозначные катионы (натрий, аммоний, калий), находятся в почве в обратимом состоянии.

Совершенно такие же соотношения показывают и минеральные коллоидальные вещества почвы. Если они содержат поглощенные однозначные катионы (натрий, аммоний и калий), то представляют собой обратимые коллоиды: при высыхании и под действием растворимых солей натрия, калия и аммония они дают обратимые гели, переходящие снова в коллоидальный раствор при действии на них воды. Если же минеральные коллоидальные вещества почвы содержат поглощенными катионы двузначных (кальция и магния) или трехзначных (алюминия и железа) металлов, то они в почве являются в виде необратимых в воде гелей, агрегатов коллоидальных частиц, не разбиваемых водою.

Поэтому о коллоидальных веществах в состоянии золя в почвах, содержащих в своем поглощающем комплексе только катионы двузначных металлов, практически говорить не приходится; золей в таких почвах в сколько-нибудь заметных количествах нет; и это не только в почве в естественном состоянии, где содержание воды даже при полной насыщенности почвы ею в общем небольшое — максимум процентов до 70 от веса сухой почвы, но и при большом количестве воды, воздействующей на почву. Но отсутствие в почве в сколько-нибудь заметных количествах золей вовсе не указывает на отсутствие в ней веществ в коллоидном раздроблении; они всегда в почве имеются в большем или меньшем количестве, в зависимости от природы почвы; имеются же они там (подчеркиваю это) в состоянии необратимых гелей. Но, с другой стороны, так же как нет абсолютно нерастворимых соединений, так же не существует абсолютно необратимых коллоидов; все почвенные коллоиды, хотя в самых незначительных количествах, может быть, неуловимых существующими методами исследования, находятся в почвенной влаге в состоянии золей; если они, вследствие очень малого своего количества, в каждый данный момент и не могут играть в почве особой роли, то значение этой формы коллоидального вещества в почве в ее вековых процессах, несомненно, колоссально; достаточно указать, что передвижение в почве гумусовых веществ и алюмосиликатной части в виде свободных окислов кремния, железа, алюминия и марганца, вымывание их из одних почвенных слоев и скопление в других местах почвенного разреза совершается почти исключительно в виде коллоидальных растворов этих веществ; передвижение этих веществ в каждый данный момент

в самых ничтожных количествах создает в конце концов, по прошествии целого ряда лет, ту дифференцировку почвенных слоев, какая наблюдается на почвенных разрезах. Этим же ничтожным количеством золей разнообразных веществ почва обязана образованию в ней новых своих соединений.

Тут мы имеем совершенно то же, что и с веществами, находящимися в почвенном растворе не в виде золей, а в виде истинных растворов: например, соединений кальция, магния, натрия, калия в каждый данный момент в почвенном растворе обычных почв (незасоленных), правда, больше, чем коллоидальных, но также сравнительно очень немного, а в результате мы наблюдаем в наших почвах сильное обеднение этими элементами в одних слоях и накопление их в виде иллювиальных горизонтов в других местах.

Но имеются почвы, содержащие в своих почвенных водах значительно больше коллоидально растворенных веществ; это почвы, в поглощающем комплексе которых имеется поглощенный натрий, т. е. солонцы и солонцеватые почвы; коллоидальные вещества в этом случае, как мы видели, находятся в виде обратимых гелей, и последние почвенной влагой переводятся в золи. Но так как влаги в почве в каждый данный момент может содержаться сравнительно мало, то и в этих почвах содержание коллоидальных веществ в виде золя по сравнению с общим содержанием их невелико. Поэтому и в таких почвах для вымывания из них всей коллоидальной части в общей сумме требуется значительно большее количество просочившейся воды, чем для вымывания легкорастворимых почвенных соединений.

СОЛОНЦЫ И СОЛОНЦЕВАТЫЕ ПОЧВЫ МАКИЕВСКОГО ОПЫТНОГО ПОЛЯ

Кроме периодических солонцеватых почв и солонцов в природе встречаются постоянные солонцы, т. е. такие, которые не превращаются уже в солончаки, так как те соли, которые когда-то засоляли почву, вымыты из нее так глубоко (унесены, например, грунтовыми водами), что уже не подымаются в почвенные горизонты при нынешних условиях климата, или же вынесены речными системами в другие места. Как раз такие-то постоянные солонцеватые почвы и солонцы занимают видное место в районе Макиевского опытного поля. Солончаковых почв в этом районе не встречается; в очень редких случаях констатируется присутствие следов серной кислоты и хлора; грунтовые воды также не засолены, но так как в районе имеются солонцы и солонцеватые почвы, а таковые могли произойти, как мы видели выше, только из почв, бывших в то или другое время засоленными растворимыми солями натрия, то необходимо допустить, что было такое время, когда эти почвы района Макиевки представляли солончаки и солончаковые почвы.

Вообще надо сказать, что такое засоление почв, очевидно, было широко распространено в области всего днепровского ледникового языка

(см. карту на стр. 196), представляющего впадину, постепенно понижающуюся к долине Днепра; такое устройство поверхности могло быть причиной бокового стока в эту впадину легкорастворимых солей, образовывавшихся в процессе почвообразования в повышенных западных и восточных боках этой впадины; грунтовые воды должны были поэтому здесь засоляться, а так как вследствие пониженного рельефа стояние их в этой впадине было сравнительно близкое к поверхности, то капиллярным поднятием могла засолиться в соответствующих местах и почва этой впадины.

На бывшее здесь некогда засоление указывают встречающиеся и ныне в некоторых пунктах этой впадины солончаковые почвы, а главное, широко распространенные во всей этой области солонцеватые почвы и солонцы. Очевидно, вследствие каких-то причин засоление прекратилось и засоляющие соли были вымыты; относительно этих причин можно делать одни только предположения; наиболее вероятным нам кажется такое объяснение. Как мы указывали выше, источником засолявших Днепровскую впадину легкорастворимых солей, по всей вероятности, были соли, образующиеся в процессе почвообразования в самой впадине и на восточном и западном ее склонах; процесс образования этих солей должен был особенно энергично протекать в начале почвообразования; тогда этих солей образовалось много, и они, концентрируясь в почвах впадины, давали засоленность, которая постепенно уносилась с грунтовыми водами в водную систему Днепра; постепенно энергия почвообразования затухала, количество приносимых со склонов впадины солей уменьшалось, а продолжающийся сток вод, уже бедных солями, мало-помалу окончательно вымыл соли в воды днепровской системы.

Солонцеватые почвы Макиевского опытного поля приурочены к определенным элементам рельефа. Участок опытного поля имеет слабый уклон с северо-востока на юго-запад, с падением примерно на 1 сажень на версту в направлении к руслу замершей речки. Северо-восточная возвышенная часть поля занята нормальным черноземом (быть может, с очень слабыми следами солонцеватости; требующихся для этого выяснения детальных исследований не было возможности еще произвести); по мере же понижения появляются солонцеватые почвы, сначала спорадически — пятнами, в зависимости от элементов микрорельефа, а затем, в юго-западной части, к руслу речки, мы уже имеем сплошные солонцы. Таким образом, в зависимости от м а к р о р е л ь е ф а степень солонцеватости здесь тем выше, чем ниже место; такая связь объясняется высотой залегания грунтовых вод и приносом солей из более высоких мест; чем ближе были грунтовые воды к поверхности и чем больше мог быть принос солей с окружающих мест, тем сильнее должно было быть прежнее засоление, а значит, и последующая солонцеватость.

Зависимость современной солонцеватости от микрорельефа оказывается обратной: повышенные элементы микрорельефа (бугорки) покрыты наиболее солонцеватой почвой; на ровных элементах микрорельефа почвы значительно менее солонцеватые, а отрицательные элементы микрорелье-

фа (впадины, блюдца) покрыты нормальным черноземом (или слабосолонцеватым). Такая картина распределения почв различной степени солонцеватости в зависимости от микрорельефа объясняется следующим образом. Высота залегания грунтовых вод в данном случае влиять не могла, слишком для этого ничтожна разность уровней между повышенными и пониженными частями микрорельефа; в данном случае сыграла роль большая испаряющая поверхность бугорков по сравнению с остальными частями микрорельефа, вследствие чего бугорки эти, как фитиль, всасывали почвенную влагу из окружающих их мест и подымали отсюда соли на свою поверхность; кроме того, впадины обессоливались еще вследствие большего поверхностного увлажнения, благодаря стоку сюда атмосферных осадков с повышенных частей микрорельефа.

Таким образом, наибольшая засоленность должна была получаться на повышенных элементах микрорельефа (бугорки), наименьшая — на пониженных элементах (западинки, блюдца) и средняя на промежуточных; параллельно с этим в таком же порядке должна изменяться и степень солонцеватости почв, происшедших из этих солончаковых почв, что мы и видим в действительности.

Почвенный покров полей южной половины Макиевского опытного поля представляет сложный комплекс почв разной степени солонцеватости (солонцы и солонцеватые почвы различной степени) и нормального чернозема; детальной почвенной съемки Опытного поля еще не имеется, но Агрохимический отдел Носовской опытной станции произвел подробное исследование нескольких профилей микрорельефа, дающее возможность представить себе общую картину зависимости характера и свойств почвы от микрорельефа и отношения возделываемых растений к этим свойствам почвы.

Во всех исследованных случаях солонцеватость почвы, которая измеряется количеством поглощенного натрия в поглощающем комплексе почвы, оказалась именно в той зависимости от микрорельефа, которую мы изложили выше, т. е. на буграх почвы наиболее солонцеваты, в западинках наименее солонцеваты (или вовсе не солонцеваты), а на ровных элементах микрорельефа по степени солонцеватости почвы занимают среднее место. На различных буграх степень солонцеватости почвы, так же как и в различных западинках, конечно, не одинакова.

Сколько-нибудь заметная солонцеватость с точки зрения агрономической явление отрицательное; большинство сельскохозяйственных растений весьма чувствительно к ней и трудно мирится с этим свойством почвы. Если взять овес, из наших обычных полевых растений одно из наиболее чувствительных к солонцеватости, то общий вид поля, занятого им, дает совершенно ясную картину микрорельефа поля и связанной с этим микрорельефом степени солонцеватости в различных местах поля; овсяное поле представляет очень пестрый, пятнистый вид: на бугорках имеет пятна очень плохого овса или совершенно голые (в зависимости от степени солонцеватости их), в низинах, наоборот, овес хорошо развит, а в средних элементах микрорельефа и состояние овса среднее.



Общий вид посева овса на Макиевском опытном поле с пятнистостью от солонцеватых пятен. (Человек с лошадью стоит на таком пятне)

Одной из существеннейших особенностей солонцов и солонцеватых почв Макиевского опытного поля (по всей вероятности, и всех более южных солонцов днепровского языка и части более северных, по крайней мере района Носовской станции) является содержание в них углекислого кальция (отчасти и углекислого магния) во всем почвенном разрезе с самой поверхности почвы; исследование определенно показывает, что раз почва здесь заметно солонцевата, она, при смачивании ее кислотой, вскипает с самой поверхности; вообще же несолонцеватые черноземы Макиевки в верхних слоях углекислого кальция не содержат, а потому с кислотой не вскипают; горизонт вскипания у них находится на некоторой глубине (в среднем можно считать на 60 *см* от поверхности).

Присутствие углекислого кальция в самых поверхностных горизонтах макиевских солонцеватых почв находится в непосредственной связи с бывшим засолением: почвы эти засолялись не только легкорастворимыми солями, но и труднорастворимыми углесолями кальция и магния и совершенно по той же причине. Но в то же время как легкорастворимые соли натрия успели уже полностью выщелочиться из этих почв, углесоли кальция и магния, как малорастворимые, остались еще, по крайней мере местами, даже в самых поверхностных горизонтах.

В других местах России (например, на нашем юго-востоке) встречаются солонцы, совершенно не содержащие углесолей кальция в поверхностных горизонтах.

Содержит ли солонец углекислый кальций или не содержит, от этого в значительной степени зависят его агрономические свойства, приемы улучшения и дальнейшая естественная судьба этой почвы.

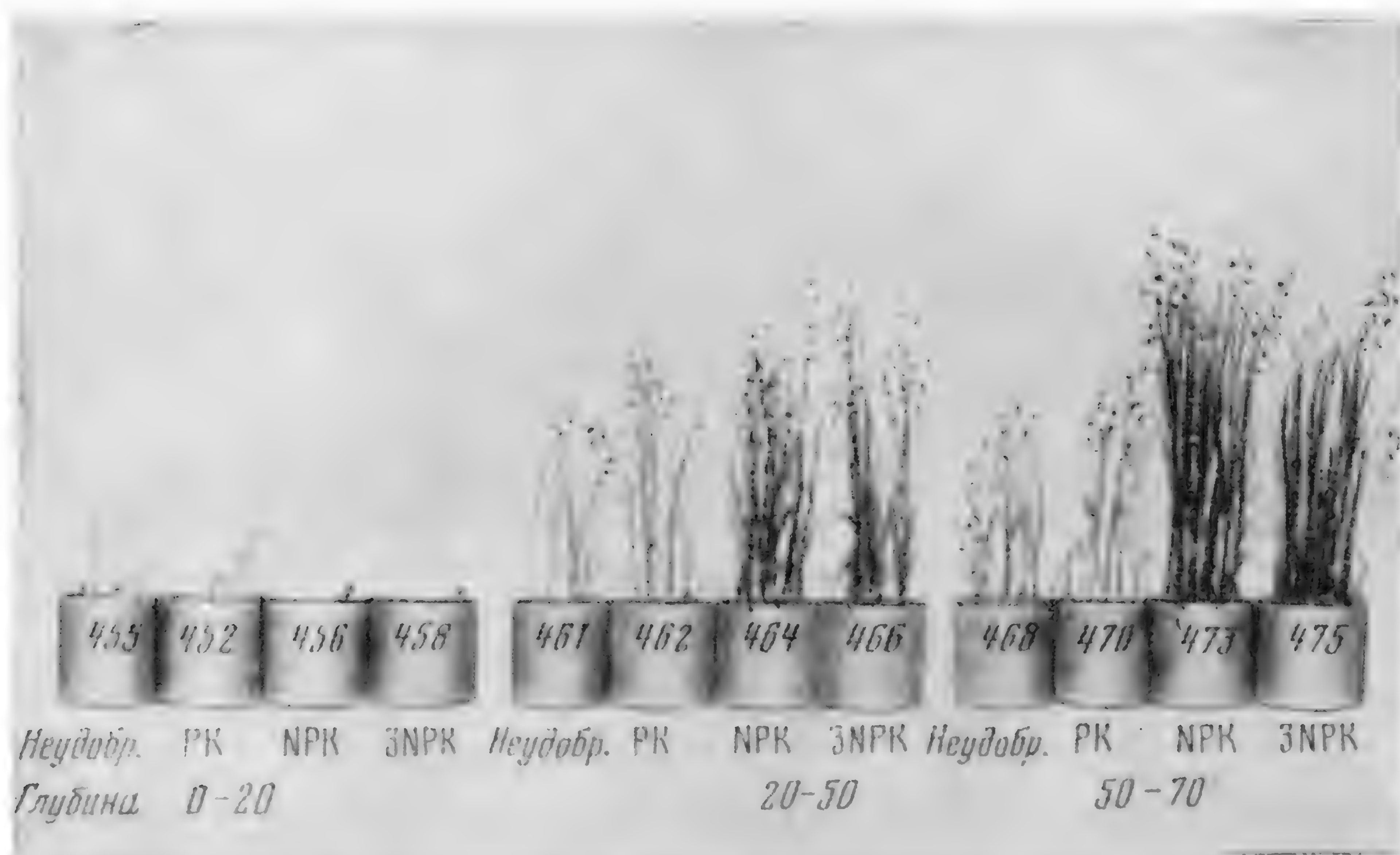
СВОЙСТВА СОЛОНЦОВ И СОЛОНЦЕВАТЫХ ПОЧВ МАКИЕВСКОГО ОПЫТНОГО ПОЛЯ

Теперь перейдем к описанию макиевских солонцов и солонцеватых почв. Все особые свойства этих почв, отличающие их от почв несолонцеватых, как основные (т. е. свойства их как почвенного образования), так и агрономические, вызываются тем, что в поглощающем их комплексе содержится поглощенный натрий, и степень выраженности этих особых свойств идет параллельно количеству в почве этого поглощенного натрия.

Химические свойства. Прежде всего остановимся на особенностях в химизме солонцов, обусловленных присутствием в них поглощенного натрия.

Реакция почвенного раствора нормального чернозема слабо щелочная (т. е. в почвенном растворе содержится гидроксильный ион — OH, но в очень небольшом количестве), так как этот раствор всегда содержит двууглекислый кальций; но это соединение может дать лишь очень слабую, едва уловимую щелочность, которая растительности вовсе не вредна, и даже наоборот, обыкновенно полезна, так как препятствует образованию в почве кислых соединений (например, свободной азотной кислоты в процессах нитрификации); но если щелочность почвенного раствора достигает сколько-нибудь заметной величины, то растения уже страдают, а при дальнейшем повышении ее гибнут. Вот такая щелочность и получается в солонцеватых почвах и солонцах, так как они с почвенной влагой дают сильно щелочное соединение — соду. *Присутствие соды и является характерной особенностью этих почв.*

Образование соды в солонцовых почвах и солонцах, содержащих углекислый кальций (как это имеет место в макиевских почвах), происходит следующим путем. У нас имеется почва, в поглощающем комплексе которой содержится поглощенный натрий, который, являясь поглощенным катионом, может обмениваться на всякий другой катион, содержащийся в почвенном растворе. С другой стороны, макиевские солонцы и солонцеватые почвы, как мы видели, уже с поверхности содержат углекислый кальций, который хотя и трудно растворим, но все-таки в литре почвенного раствора при наиболее благоприятных условиях для его растворения может раствориться до 1 *г* $CaCO_3$, т. е. около 0,5 *г* иона кальция; вот этот ион кальция, всегда содержащийся в почвенном растворе макиевских солонцов, будет, поглощаясь почвою, вытеснять из ее поглощающего комплекса содержащийся там натрий; последний, становясь на место кальция



Пахотный слой почвы с солонцеватого пятна глубиной до 20 *см* не дает почти урожая овса. Внесение минеральных удобрений не помогает. Нижние слои почвы (20—50 и 50—70 *см*) более урожайны

в находящийся в почвенном растворе углекислый кальций, будет давать соду; в каждый данный момент содержание соды в почвенном растворе не может быть особенно велико; тут имеется определенный предел для этого содержания, обусловливаемый малой растворимостью углекислого кальция и дальнейшим понижением этой растворимости образующейся содой (на основании химического закона: растворимость всякой труднорастворимой соли, в данном случае $CaCO_3$, понижается в присутствии в растворе другой соли, в данном случае Na_2CO_3, имеющей с первой общий ион, в данном случае анион CO_3), но и таких количеств достаточно для гибели большинства растений (см. рисунок).

Отметим, что сода образуется и в таких солонцах и солонцеватых почвах, которые не содержат углекислого кальция, так как почвенный раствор всегда содержит растворенную в нем углекислоту, а водородный ион почвенного раствора, так же как ион кальция, способен вытеснять из почвы поглощенный натрий, который в почвенном растворе с углекислотой дает соду; но в этих условиях соды образуется еще меньше, чем в том случае, когда в почве имеется углекислый кальций; таким образом, мы видим, что в отношении ядовитости почвы для растений вследствие присутствия соды такие солонцы, как макиевские, содержащие

углекислый кальций, менее благоприятны, нежели солонцы без углекислого кальция.

Мы видим из вышеизложенного, что *солонцы и солонцеватые почвы всегда содержат соду*; иногда количество ее бывает очень ничтожно (почвы, лишенные углекислых солей кальция и магния), иногда оно значительно выше, например, может достигать нескольких сотых процента (в водной вытяжке), когда в почве содержатся углесоли кальция и магния; в том и в другом случае количество образующейся соды будет находиться в зависимости от богатства почвы поглощенным натрием (чем выше его содержание, тем больше может образовываться в почвенном растворе соды) и от содержания в почвенном растворе углекислоты; чем больше в почве будет образовываться углекислоты, тем растворимее будет углекислый кальций, если он в солонце имеется, и тем, значит, больше будет из почвы вытесняться натрия; если же солонец не содержит углекислого кальция, то с увеличением содержания углекислоты в почвенном растворе будет увеличиваться и содержание водородного иона, а значит, и вытесняемого им натрия.

В противоположность солончакам, солонцы других легкорастворимых солей, засоляющих почву, или не содержат вовсе (что мы наблюдаем в макиевских солонцах), или содержат сравнительно мало; солончаки же, обратно: в них может содержаться очень много других легкорастворимых солей (хлористые и сернокислые соли), соды же они или вовсе не содержат, или содержат значительно меньше, чем солонцы. Объясняется это тем, что образованию соды реакцией взаимного обмена натрия поглощающего комплекса на кальций углекислого кальция (или на водород почвенного раствора) препятствует, по закону действия масс, присутствие в почвенном растворе катиона натрия (катиона хлористых и сернокислых солей), и когда концентрация растворимых солей натрия в почвенном растворе выше некоторой величины (сравнительно очень небольшой, так как растворимость углекислого кальция небольшая, а значит и концентрация действующего катиона кальция мала), то вытеснение кальцием натрия из поглощающего комплекса становится невозможным, а потому образования соды не происходит. Поэтому между чистым солончаком, т. е. почвой, засоленной различными легкорастворимыми солями, но не содержащей вовсе соды, и между чистым солонцом, т. е. почвой, содержащей соду, но не содержащей других растворимых солей, находятся почвы смешанного характера (солонцы-солончаки), содержащие и небольшое количество соды, и другие легкорастворимые соли.

Как следует из теории образования соды в почве, солонцы и солонцеватые почвы отличаются от солончаков и в другом еще отношении. Легкорастворимые соли солончака легко могут быть вымыты из почвы: для этого достаточно несколько раз промыть почву; при этом, как мы знаем уже, если солончак содержал натриевые соли, то он после промывания превратится в солонец. Уничтожить же соду в солонце таким простым промыванием нельзя; та сода, которая имелась в почве перед промыванием, будет, конечно, выщелочена из почвы водой, но вместо

нее тотчас же образуется новое количество соды, и примерно столько же, сколько ее было, вследствие дальнейшего вытеснения из поглощающегося комплекса кальцием углекислого кальция поглощенного натрия: *образование соды в солонце прекратится только тогда, когда весь поглощенный натрий будет вытеснен, достичь чего промыванием почвы чистой водой очень трудно.*

Отметим, что сода в почве может накопляться иногда в значительной степени, когда для этого существуют соответствующие благоприятные условия; а именно, если имеется налицо боковой подток почвенных вод, содержащих соду, с вышележащих мест или капиллярное поднятие соды с водою снизу. В этом случае притекающая со стороны сода должна расходоваться в почве сначала на полное вытеснение из поглощающего комплекса поглощенных кальция и магния (натрий соды будет поглощаться почвою, а вытесняющиеся из почвы кальций и магний будут переводить анион CO_3 в нерастворимый углекислый кальций и углекислый магний); сода будет таким образом «исчезать» из почвы; и только тогда, когда поглощающий почвенный комплекс будет вполне (или почти вполне) насыщен натрием, притекающая со стороны сода начнет накопляться в почве.

Отметим тут кстати, что выводы, делавшиеся до сих пор почти всеми исследователями, изучающими ядовитость растениям соды методом внесения различных ее количеств в нормальные почвы,— неправильны, так как исследователи не принимают во внимание «исчезновения» соды как таковой из почвы и перехода ее в углесоли кальция и магния с поглощением натрия; в результате таких опытов на растения воздействуют только те ничтожные количества соды, которые остаются в почве а поэтому получается такая картина, что сода в почвенных культурах якобы мало вредна растениям и что хлористый и сернокислый натрий более ядовиты, между тем как песчаные и водные культуры, где «исчезновение» соды не имеет места, показывают, и совершенно правильно, как раз обратное: из всех солей, встречающихся в солончаках и солонцах, сода наиболее ядовита для растений. Нужно при этом иметь в виду, что сода в почве может быть в двух видах: в виде так называемой нормальной соды — Na_2CO_3 и двууглекислой — $NaHCO_3$; первая, как сильно щелочное соединение, значительно вреднее, нежели вторая; в почве эти два соединения очень легко переходят одно в другое, так например при избытке в почвенном растворе и воздухе углекислоты нормальная сода в большей своей части перейдет в двууглекислую, и обратно.

Таким образом мы видим, что основная особенность солонцов и солонцеватых почв в отношении их химических свойств по сравнению со всеми остальными почвенными типами, а именно содержание в их поглощающем комплексе поглощенного натрия при отсутствии в почве сколько-нибудь заметных количеств хлористых и сернокислых солей натрия, кальция и магния, является причиной другой особенности в химизме их, причиной образования в почвенном растворе этих почв соды, что делает эти почвы весьма неблагоприятными в агрономическом отношении. То же

основное свойство солонцов и солонцеватых почв является причиной физических особенностей этих почв, особенностей также весьма неблагоприятных в агрономическом отношении. Мы теперь и перейдем к описанию физических свойств солонцов и выяснению их причин.

Физические свойства. Когда солонцеватая почва, причем солонцеватая в самых своих поверхностных слоях (каковы солонцы Макиевского опытного поля) просохнет, то она растрескивается на поверхности с образованием крупных структурных элементов (глыб, комьев), величина которых тем больше, чем солонцеватее почва; эти структурные элементы отличаются очень большой прочностью и с большим трудом поддаются раздроблению; таким образом, солонцеватые почвы в сухом состоянии отличаются грубой и очень прочной структурой; такое свойство, очевидно, уже само по себе является неблагоприятным в сельскохозяйственном отношении (затруднительность обработки почвы в сухую погоду, разрыв корней растений при высыхании почвы).

В мокром состоянии такие почвы, обратно, являются бесструктурными; та связь в структурном элементе солонца, которая является очень прочной в его сухом состоянии, оказывается совершенно непрочной в его мокром состоянии; вода, постепенно проникая в сухую глыбу солонца, уничтожает эту связь, и глыба расплывается на составляющие ее механические элементы, которые в солонцах оказываются очень мелкими; получается бесструктурная, липкая, сильно клеющая масса, с трудом пропускающая воду и воздух и только чрезвычайно медленно капиллярно подымающая снизу воду; солонцы поэтому имеют вообще склонность к заболачиванию; в природе мы и видим, действительно, непосредственную связь между солонцеватостью и заболоченностью: сильно просохший в поверхностном горизонте солонец вследствие его грубой структурности дает ряд трещин; выпадающие атмосферные осадки проникают через эти щели; но на некоторой глубине (обычно небольшой) щели эти исчезают, так как почва там влажная, а потому бесструктурная; а так как эти бесструктурные горизонты очень трудно проницаемы для воды, то происходит застаивание воды — заболачивание.

Одним словом, солонцеватая почва в физическом отношении приближается к тяжелым глинистым почвам, а между тем почвы рядом лежащие, происшедшие из той же материнской породы, но не подвергшиеся в прежние времена засолению и не ставшие поэтому теперь солонцеватыми (или, наоборот, лишившиеся уже солонцеватости, о чем см. ниже), оказываются по своему механическому составу легкосуглинистыми. Как раз это имеет место на Макиевском опытном поле: несолонцеватые почвы северной повышенной части поля по механическому своему составу относятся к легкосуглинистым почвам, а солонцы южной части, именно потому, что они солонцы, по своим физическим свойствам и связанным с ними водным и воздушным свойствам ведут себя как тяжелые глинистые почвы. Чтобы разобраться в причине этого явления, нам опять приходится вернуться к свойствам поглощающего почвенного комплекса.

Зависимость физических свойств почвы от состава поглощенных ка-

тионов. Поглощающий почвенный комплекс состоит, как мы видели, из частиц коллоидальных размеров, т. е. диаметр их находится примерно в пределах от 0,0001 и до 0,0000001 *мм.* Если мы возьмем нормальный чернозем, т. е. почву, поглощающий комплекс которой не содержит поглощенного натрия, а только поглощенные кальций и магний, то, действуя на такую почву водою, мы почти не получим из этой почвы, даже при большом содержании в ней поглощающего комплекса (например, до 30% от веса почвы), отдельных коллоидальных частиц: это указывает на то, что *коллоидальные частицы нормального чернозема находятся в нем не в свободном, отдельном одна от другой, состоянии, а образуют между собою и вместе с более крупными почвенными частицами агрегаты значительно большей величины*, в которых цементирующим веществом являются клеющие коллоидальные частички поглощающего комплекса; оказывается, что клеющая сила этих коллоидальных веществ почвы, когда поглощающий комплекс насыщен только кальцием и магнием, настолько прочна, что вода может разбить структурные элементы чернозема не до конца, не до первичных отдельных коллоидальных частиц, а лишь до их агрегатов, правда, более мелких размеров, чем первоначальные, существовавшие в сухой почве, но все-таки не до коллоидальных; *вода в таких почвах разрушает макроструктуру, но почти не в состоянии разрушить микроструктурные элементы.*

Не то получается в том случае, когда в поглощающий комплекс того же чернозема искусственно или естественно вступит натрий вместо кальция и магния; тогда клеющая способность коллоидальных частиц оказывается очень непрочной в отношении действия воды; под действием воды почвенные агрегаты расклеиваются, распускаются до конца, до отдельных составляющих их частичек; почва во влажном состоянии вместо смеси отдельных крупных частиц и микроструктурных элементов, в которых связаны отдельные коллоидальные частички (состояние нормального чернозема), дает смесь, содержащую свободные коллоидальные частички.

В почвах, поглощающий комплекс которых насыщен только кальцием и магнием (нормальные черноземы), во влажном их состоянии мы почти не имеем отдельных (свободных) коллоидальных частиц, они собраны в более крупные агрегаты; *в почвах же, в поглощающем комплексе которых имеется натрий* (*солонцеватые почвы и солонцы*), *во влажном их состоянии бо́льшая или меньшая часть коллоидальных частиц* (в зависимости от степени насыщения поглощающего комплекса натрием, т. е. от степени солонцеватости почвы) *находится в свободном состоянии*; вследствие этого несолонцеватые черноземы имеют как бы более крупнозернистый состав, а те же черноземы, став солонцеватыми или солонцами, получают более глинистый состав, становятся более коллоидальными.

Коллоидальная часть почвы, когда отдельные ее частицы не свернуты в агрегаты, проявляет одно очень интересное и вместе с тем очень неблагоприятное агрономическое свойство: она приобретает способность сильно набухать в воде; между почвенными частичками коллоидальных размеров и молекулами воды имеется очень сильное притяжение; каждая

такая частичка вследствие этого притяжения окружается слоем воды, удерживаемым частичкой с очень большой силой; поэтому влажные коллоидальные частички в почве примыкают друг к другу и к другим более крупным почвенным частичкам не непосредственно, а своими водными оболочками, что, конечно, увеличивает объем почвы; вытеснить эту воду, вследствие прочной связи ее с коллоидальными частичками, очень трудно, поэтому почва становится чрезвычайно трудно проницаемой для воды, так как вода атмосферных осадков, чтобы пройти через слой такой почвы, должна сначала вытеснить эту прочно связанную воду. По причине той же прочной связи воды с коллоидальными почвенными частичками влага эта мало доступна корням растений; растения на сильно коллоидальной почве даже при очень высоком проценте влажности почвы могут страдать от недостатка доступной воды.

Различны физические свойства почв с поглощающим комплексом, насыщенным только кальцием и магнием, и с поглощающим комплексом, содержащим натрий, не только во влажном, но и в сухом состоянии. Когда высыхает несолонцеватый чернозем, то его микроструктурные элементы (мелкие комочки, агрегаты коллоидальных частиц) будут цементировать более крупные механические элементы почвы и давать макроструктуру; но так как величина этих мелких комочков по сравнению с величиной свободных коллоидальных частиц значительно бóльшая, то клеющая способность их невелика; макроструктурные элементы получаются сравнительно небольшой величины (зернистая, мелкокомковая структура) и рыхлого сложения.

Не то получается при высыхании солонцеватых черноземов и особенно солонцов. Так как коллоидальные частички в них в том или другом количестве находятся в свободном состоянии, то клеющая их способность велика; цементируя остальные почвенные механические элементы, они создают в таких почвах, при высыхании их, крупную структуру, обладающую притом большой прочностью.

Таким образом, если сравнивать влияние поглощенного натрия на физическое состояние поглощающего комплекса почвы, а значит, и на самую почву, содержащую таковой комплекс, с влиянием поглощенного кальция и магния, то можно сказать, что *присутствие поглощенного натрия в почве повышает ее коллоидальность*, так как способствует распылению поглощающего комплекса, повышает степень его дисперсности; *поглощенный же кальций понижает коллоидальность почвы.* С точки зрения сельскохозяйственной такое действие поглощенного натрия, как видно из вышеизложенного, нужно рассматривать как явление очень неблагоприятное.

Таким образом, присутствие поглощенного натрия в почве (т. е. солонцеватость почвы), если рассматривать почву как культурную среду для растений, вредно и в отношении химических, и в отношении физических свойств почвы. Наоборот, полное насыщение поглощающего комплекса кальцием и магнием (может быть, вернее сказать, почти полное) оказывается наиболее благоприятным в агрономическом отношении; в этом

случае почва может содержать очень много коллоидальных частиц, ее поглощающий комплекс может достигать большой величины, вследствие чего почва будет деятельна, будет обладать очень благоприятной структурой (о чем подробнее будет изложено при описании агрономических свойств носовских почв), а вместе с тем отрицательного влияния большой коллоидальной части проявляться вообще не будет.

Мы указывали раньше, что почвенный поглощающий комплекс состоит из коллоидально распыленных минеральных и органических соединений. Во всех вышеописанных свойствах солонцов и солонцеватых почв принимают участие обе эти части поглощающего комплекса; обе они участвуют в образовании соды, обменивая свой поглощенный натрий на кальций углекислого кальция, и в создании неблагоприятных физических свойств. Обе они, вследствие присутствия в них поглощенного натрия, при действии воды коллоидально распыляются. Распыление органической части поглощающего комплекса (гуматной части почвы) при этом настолько энергично, что она с водою дает совершенно прозрачные окрашенные гумусом растворы; коллоидальные частички гумуса в этих растворах очень мелки, свободно фильтруются через самую плотную фильтровальную бумагу и не задерживаются при фильтрации через слой почвы.

Степень окрашенности таких водных растворов гуматной частью находится в зависимости от степени солонцеватости почвы: чем последняя выше, тем темнее водный раствор. Макиевские солонцы невозделываемых южных частей поля дают совершенно черные водные растворы; то же получается и из бесплодных солонцеватых пятен полей опытного поля; менее солонцеватые почвы опытного поля дают более слабо окрашенные растворы, до светло-желтых; почвы же поля вовсе несолонцеватые дают почти бесцветные водные растворы, так как поглощающий почвенный комплекс, и в том числе и гуматная его часть, у этих почв, как не содержащий поглощенного натрия, находится в виде прочных, не распыляющихся водою агрегатов.

Признаки солонцеватых почв. Выше перечисленные особые свойства солонцов и солонцеватых почв (я здесь говорю только о солонцах типа Макиевского опытного поля, т. е. содержащих уже с поверхности углекислый кальций) дают возможность сравнительно легко распознать их в природе, если только солонцеватость их выражена сколько-нибудь значительно. Признаками, указывающими солонцеватые пятна среди окружающего несолонцеватого чернозема, будут следующие.

1. Цвет. И в сухом и особенно во влажном состоянии солонцеватые почвы всегда темнее окрашены, нежели окружающие черноземы.

2. Структурность. В сухом состоянии солонцеватые почвы дают более крупные структурные элементы, а главное, эти элементы значительно более прочны, труднее разбиваются, нежели структурные отдельности несолонцеватого чернозема. При сильной солонцеватости комья почвы тверды, как камень.

3. Клейкость. Во влажном состоянии солонцеватые почвы вязки и обладают большей мажущей, клеющей способностью, чем нормальные

черноземы, и при растирании между пальцами производят впечатление большей глинистости.

4. Отстоявшаяся на поверхности, или отфильтрованная почвенная вода, или искусственная водная вытяжка окрашены гумусом значительно сильнее, чем в случае несолонцеватого чернозема. По степени окраски можно судить и о степени солонцеватости.

5. По-видимому, все сколько-нибудь заметно солонцеватые почвы днепровского языка имеют очень высокий горизонт вскипания, часто подымающийся к самой поверхности почвы. Поверхностное вскипание почвы с кислотой, или очень близкое от поверхности, может служить одним из признаков солонцеватых почв.

6. Фильтрация водной вытяжки и скорость отстаивания почвы, взболтанной с водой, также являются признаками, по которым очень легко отличить солонцеватый чернозем от несолонцеватого; в первом случае и то и другое происходит заметно медленнее, чем у несолонцеватых почв; поэтому, если имеется для сравнения заведомо несолонцеватая местная почва, то сравнение хода отстаивания и скорости фильтрации водной вытяжки из определяемой почвы и из несолонцеватой даст требуемое указание.

7. Застаивание атмосферных осадков в том или другом месте по сравнению с окружающими пространствами также может быть указанием, при общей однородности материнской породы (каковой в большей части днепровского языка является сравнительно легко проницаемый лёсс), на солонцеватость почвы.

8. Состояние посевов. Пятнистый характер поля с плохим ростом на отдельных пятнах является одним из верных признаков солонцеватости почвы на этих пятнах. Конечно, плохое состояние растений может обусловливаться также солончаковатостью почвы; но солончаковые почвы, по-видимому, редко встречаются в днепровском языке, а затем они не будут показывать признаков, перечисленных в предшествующих пунктах, и вообще легко могут быть констатированы или качественными реакциями водной вытяжки на хлористые соли (белый осадок при прибавлении азотнокислого серебра) и сернокислые соли (белый осадок при прибавлении хлористого бария), или по быстрому отстаиванию и быстрой фильтрации водных вытяжек (более быстрому, чем у нормальных черноземов) и неокрашенности фильтрата.

Дальнейшая эволюция солонцов и солонцеватых почв. Как мы видели, солонцеватость есть следующая стадия почвы после засоленности ее легкорастворимыми натриевыми солями. Но сама эта стадия не является особенно устойчивой, если сравнивать, например, ее устойчивость с устойчивостью нормального чернозема. Как известно, главным фактором почвообразования вообще и тех изменений, какие могут происходить в существующих почвах, является степень их увлажнения, т. е. то количество воды, которое просачивается через почву, и глубина промывания почвы. Но действие этой просачивающейся воды на почвы, не содержащие легкорастворимые соли, например, на нормальные черноземы, очень мало

интенсивно; растворение трудно растворимой силикатной части и гумуса, а также их разложение идет сравнительно очень медленно.

Та скорость, с которой совершается изменение солонцеватого чернозема, несравненно гораздо бо́льшая, нежели скорость изменения нормального чернозема. Те процессы, которые происходят в нормальном черноземе под влиянием промывающей его воды, носят общее название д е г р а д а ц и и ч е р н о з е м а; под влиянием этих процессов чернозем очень постепенно и очень медленно переходит в почвы подзолистого типа. Разрушение органической и алюмосиликатной части солонцов и солонцеватых почв, их деградация под влиянием просачивающейся воды протекают гораздо быстрее; в результате могут получиться почвы также подзолообразные, так называемые «солоди»; с таким конечным результатом протекает деградация солонцов, не содержащих углекислого кальция; таково происхождение солодей, например, Воронежской, Тамбовской губерний, а также Юго-Востока России. Возможно, что такой же процесс имел место и в самой северной части днепровского языка, чему у нас теперь имеются непосредственные доказательства.

Процесс деградации солонцов и солонцеватых почв, содержащих углекислый кальций, т. е. солонцеватых почв Макиевского опытного поля и более южной части днепровского языка, шел и в настоящее время идет несколько иначе. Если в результате деградации бескарбонатных черноземных солонцов получается устойчивая стадия в виде подзолообразных солодей, почв, резко отличающихся и по внешним и по внутренним своим признакам от рядом залегающих черноземов, не прошедших стадии засоления, то в результате деградации карбонатных солонцов и солонцеватых почв, после окончательного исчезновения в них солонцеватости, мы будем иметь в качестве устойчивой уже стадии почвы, очень близкие к первоначальному чернозему.

Причиной неустойчивости солонцеватого типа почвы является тот же поглощенный натрий, содержащийся в поглощающем их комплексе, присутствие которого в этих почвах обусловливает вообще все особые их свойства. Мы видели, что поглощенный натрий в почве делает ее поглощающий комплекс очень доступным распыляющему действию воды; поглощающий комплекс распадается на составляющие его коллоидальные частицы, органическая его часть распыляется при этом так мелко, что получающиеся коллоидальные растворы гуминовых веществ свободно фильтруются через почву, таким образом, из почвы постепенно выщелачивается эта часть поглощающего комплекса; если сравнить, например, содержание коллоидально растворенных органических веществ в водной вытяжке из солонцов Макиевского опытного поля с содержанием этих же веществ в водной вытяжке из несолонцеватых черноземов этого опытного поля, то оказывается, что из первых почв вода растворяет раз в 200 больше гумуса, чем из вторых; ясно, что выщелачивающее действие воды значительно сильнее в солонцеватых почвах, чем в нормальных черноземах, и что, в то время как атмосферные осадки успевают вынести из солонцеватого чернозема всю гуматную часть, насыщенную натрием, из нормаль-

ного чернозема будет выщелочено лишь небольшое количество гумуса. Солонцеватые почвы, таким образом, сравнительно очень быстро могут лишиться органического поглощающего комплекса, поскольку он насыщен натрием.

Но коллоидально распыляется водой не только гуматная часть поглощающегося комплекса, но и алюмосиликатная; в таком раздробленном состоянии она также отчасти может вымываться из почвы; но, по-видимому, вымывание в этом случае не может сравниться с вымыванием гуматной части; очевидно, степень дисперсности коллоидальной алюмосиликатной части не так велика, как гуматной (не нужно забывать, что пределы размеров коллоидальных частиц очень широки, от 0,0001 до 0,0000001 *мм,* так что коллоидальные частицы по своим размерам могут очень сильно разниться между собою).

Произведенные нами исследования устанавливают, что очень энергичное действие воды на алюмосиликатную часть почвенного поглощающего комплекса, насыщенного натрием, выражается главным образом не в вымывании ее из почвы как таковой, а в разрушении ее с выделением свободных окислов кремния, алюминия и железа, которые уже в виде высокодисперсных коллоидальных растворов выщелачиваются из почвы вниз; причем имеются особенно благоприятные условия для вымывания коллоидальных растворов гидратов окиси железа и алюминия; коллоидально же растворенная кремнекислота в той или другой части свертывается на месте ее освобождения из алюмосиликата, переходя в аморфную кремнекислоту.

Таким образом, в то время как вода почти вовсе не разрушает алюмосиликатного поглощающего комплекса в нормальных черноземах, а в деградированных черноземах разрушает его лишь очень слабо и медленно,— в солонцах и в солонцеватых почвах разрушение его, поскольку он содержит поглощенный натрий, идет очень энергично и быстро, причем почва обедняется железом и алюминием и относительно обогащается аморфной кремнекислотой; поэтому характерным признаком почв, происшедших путем деградации солонцов (только бескарбонатных), отличающим их от сходных с ними первичных подзолов и вторичных подзолов, происшедших путем деградации нормальных черноземов, является повышенное в них содержание аморфной кремнекислоты *. Такое энергичное и быстрое разрушение водою алюмосиликатного поглощающего комплекса солонцов и солонцевых почв объясняется тем, что под влиянием присутствующего в этой части почвы поглощенного натрия комплекс этот во влажной почве коллоидально распылен, вследствие чего получается громадная поверхность взаимодействия его с водою.

Таким образом, из вышеизложенного мы видим, что деградация в природе солонцов и солонцеватых почв, не содержащих углекислого

* Такое обогащение почвы аморфной кремнекислотой констатировано нами в подзолообразных почвах Чемерского поля, лежащего в северной части днепровского ледникового языка.

кальция, происходит сравнительно очень быстро и сопровождается разрушением и выщелачиванием той части поглощающего комплекса почвы, как органического, так и минерального, которая содержит поглощенный натрий. В результате получается почва несолонцеватая, но вместе с тем лишенная той или другой части поглощающего почвенного комплекса, и тем большей части, чем полнее первоначальная почва была насыщена натрием. *Уничтожение очень вредной в агрономическом отношении солонцеватости достигается при этом природном процессе очень дорогою ценою,— уничтожением частичным, а иногда и полным* (в солонцах, поглощающий комплекс которых насыщен натрием) *самой существенной и самой ценной части почвы,— ее поглощающего комплекса.*

Естественное рассолонцевание происходит и в солонцах, содержащих углекислый кальций, и происходит на том же основании и не менее быстро, чем в бескарбонатных солонцах, но в этом случае столь вредное в сельскохозяйственном отношении разрушение поглощающего комплекса не может идти так далеко: во время воздействия воды на такие солонцы все время происходит вытеснение кальцием находящегося в растворе углекислого кальция натрия поглощающего комплекса; таким образом, в карбонатных солонцах их поглощающий комплекс становится постепенно все более и более недоступным разрушительному действию воды; рассолонцевание происходит в этом случае и вследствие частичного разрушения поглощающего комплекса, и вследствие частичного превращения его из насыщенного натрием в насыщенный кальцием.

Иссследования показывают, что в этом процессе идет главным образом разрушение гуматной части поглощающего комплекса, алюмосиликатная же часть страдает значительно слабее; в результате получается рассолонцованная почва, в общем близкая по химическому своему составу к окружающим ее черноземам, не бывшим солонцеватыми, и значительно менее обесцененная в сельскохозяйственном отношении, нежели в случае бескарбонатных солонцов. В этом отношении макиевские солонцы и сильно солонцеватые почвы, как содержащие углекислый кальций, имеют громадное преимущество перед бескарбонатными солонцами; их будущее не так безнадежно.

ГЕНЕЗИС НЕСОЛОНЦЕВАТЫХ ПОЧВ РАЙОНА НОСОВСКОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ

В связи с рассмотрением вопроса о судьбе макиевских солонцов и солонцеватых почв мы коснемся в нескольких словах вопроса о генезисе несолонцеватых черноземов Макиевки и вообще района Носовской опытной станции. Раз в окрестностях Макиевки имеются в настоящее время солонцы и солонцеватые почвы разной степени солонцеватости и раз в настоящее время констатируется естественный процесс их рассолонцевания, в конечном итоге которого должны получаться несолонцеватые почвы, но также черноземного типа, то есть полное основание предполагать, что и нынешние несолонцеватые черноземы Макиевки про-

шли через стадию солонцеватости; но или степень этой бывшей солонцеватости была у них ниже, чем она была в то же время у нынешних солонцеватых почв (черноземы возвышенной части Макиевки), или условия промывания были там лучше, чем у почв, оставшихся и ныне солонцеватыми (западины и блюдца в пониженной части Макиевки). А так как и в окрестностях Носовской опытной станции и вообще в районе всего днепровского языка в настоящее время имеются солонцеватые почвы, также постепенно рассолонцовывающиеся, то можно предполагать, что вообще почвы этого языка были раньше солонцеватыми, что они являются деградированными солонцеватыми почвами, «вторичными черноземами»; при таком допущении будет понятно сравнительно малое содержание в них гумуса и отчасти железа, при сравнительно все-таки сухом климате (атмосферных осадков 460 *мм* в год и ниже).

По-видимому, не только черноземные почвы области днепровского ледникового языка являются деградированными солонцеватыми почвами, но таково же происхождение, по всей вероятности, и лесных суглинков и подзоловидных почв самой северной части этой области. Такое заключение можно сделать из наших предварительных исследований почв Чемерского опытного поля, лежащего в этой части области.

Улучшение солонцеватых почв. Для культуры большинства сельскохозяйственных растений заметно солонцеватые почвы мало пригодны; сильно же солонцеватые и тем более солонцы и вовсе не пригодны. Таким образом, почвы эти нуждаются в улучшении. Вопрос о мелиорации солонцов (а также тесно связанный с ними вопрос о мелиорации солончаков) давно уже занимает сельских хозяев и опытные учреждения тех местностей Европы, Азии, Америки и Африки, где распространены почвы этого типа. Но только в самое последнее время, в связи с выяснением генезиса этих почв и основной причины их особых свойств, вопрос о мелиорации солонцов становится на твердую почву.

При рассмотрении этого вопроса необходимо помнить, что все особенности солонцов, столь неблагоприятные для сельскохозяйственной культуры, вызываются присутствием в поглощающем комплексе их поглощенного натрия, и затем, что наиболее желательным в агрономическом отношении поглощенным катионом в почве является кальций. Отсюда непосредственно вытекает, что коренное улучшение солонца будет достигнуто тогда, когда весь его поглощенный натрий будет замещен кальцием (см. рисунок). Затем, на основании законов поглотительной способности почвы следует, что такая замена может быть произведена, если почва будет промываться растворами, содержащими какую-нибудь соль кальция, при непременном условии удаления дренажем отработавших вод, содержащих продукты обмена (т. е. соль натрия и того аниона, соль кальция которого находилась в промывающем почву растворе). Практически наиболее подходящею для этого солью кальция является сернокислый кальций (гипс); это самая дешевая соль кальция, она достаточно для данной цели растворима в воде, а с другой стороны, она не сильно растворима и потому не будет без надобности особенно сильно



Действие удобрений на солонцах Макиевского опытного поля. В вегетационных сосудах известь на солонцы действует лучше, чем полное удобрение

Отзывчивость чернозема II гр. на удобрение N и P

вымываться из почвы, а, кроме того, ее анион (серная кислота) представляет необходимое для растений питательное вещество, а при избытке он менее вреден, чем, например, ион хлора.

Таким образом, внесением в почву достаточного количества гипса и орошением почвы с удалением промывающих вод можно достигнуть полного уничтожения солонцеватости почвы. Относительно количества потребного для этого гипса теоретически можно указать только, что оно должно быть значительно больше, чем требуется его по расчету на содержание в почве поглощенного натрия; больше потому, что ни один катион почвенного раствора не поглощается почвою полностью, даже при недостатке его в растворе для полного насыщения почвы поглощается только часть, остальная же часть гипса как такового будет вымыта дренажными водами вместе с продуктом обмена, т. е. с сернокислым натрием. Необходимое количество гипса и способы его внесения должны быть выработаны практически для данных солонцов.

Солонцы макиевского типа (т. е. содержащие много углекислого кальция) в отношении их коренной мелиорации находятся в лучших усло-

виях, нежели бескарбонатные солонцы, именно потому, что они содержат уже соль кальция. Мы видели выше, что в таких солонцах коренная их мелиорация происходит уже естественно, по, к сожалению, вследствие малой растворимости углекислого кальция она протекает медленно, а при естественном ходе вещей, кроме того, недостает необходимого для удаления образующейся двууглекислой соды энергичного промывания почвы. Если усилить тем или другим путем растворимость углекислых солей кальция и магния почвы и увеличить количество воды в почве, то, как показывают наши лабораторные исследования, макиевские солонцы (даже наиболее солонцеватые) можно быстро и полно рассолонцевать, причем таким ускорением естественного процесса выигрывается не только время; оказывается, что вместе с этим значительно понижается то количество поглощающего почвенного комплекса (как органического, так и минерального), которое в этих солонцах при этом процессе разрушается и вымывается; в лабораторных условиях возможно даже полный процесс рассолонцевания произвести без уловимой имеющимися методами потери этого комплекса.

Таким образом, содействуя естественно протекающему рассолонцеванию карбонатных солонцов и солонцеватых почв, мы выигрываем и в скорости перевода этих почв в культурное состояние, и уменьшаем разрушение наиболее ценной части почвы.

Усилить растворимость углекислых солей кальция и магния в солонцах можно различными путями. Наиболее действительным средством будет поливка почвы разжиженными растворами какой-нибудь кислоты, самой подходящей является серная кислота; образующийся достаточно растворимый сернокислый кальций будет действовать так же, как если бы мы его вносили в сухом состоянии в виде гипса; но преимущества поливки серной кислотой в том, что тогда действие сернокислого кальция, как находящегося уже в растворе, быстрее и нет надобности в отдельной поливке; и в этом случае, конечно, поливка должна сопровождаться дренированием прошедших через почвенный слой вод.

Как известно, растворимость углесолей кальция и магния находится в прямой зависимости от содержания углекислоты в почвенном растворе; поэтому все, что повышает содержание углекислого газа в почве, ускоряет естественный процесс рассолонцевания макиевских солонцов (если, конечно, образующаяся обменной реакцией двууглекислая сода удаляется с дренажными водами); для такой цели может служить, например, усиленное внесение в почву легко разлагающихся органических веществ (навоза, торфа). В том же направлении ускорения естественного рассолонцевания должно действовать произрастание на солонцеватых почвах любой растительности, так как корни растений выделяют сравнительно много углекислоты; для этой цели нужно, конечно, выбирать растения, хорошо развивающиеся на солонцеватых почвах, например, донник и сахарная свекла. Необходимо при применении подобных мер помнить, что они могут способствовать коренной мелиорации солонцеватых почв только в том случае, если почва сильно увлажняется и хорошо дренируется.

Отметим, что внесение в солонцеватые почвы навоза (и других органических веществ) и без промывания почвы должно давать положительный эффект на урожаи в течение некоторого времени, так как чем больше в почве образуется углекислоты, тем меньше в ней можно ожидать нормальной соды (Na_2CO_3), которая в этих условиях переходит в двууглекислую соду ($NaHCO_3$), значительно менее вредную, нежели первая соль. Но такое положительное действие навоза без удаления образующегося двууглекислого натра будет лишь временным.

Каких-либо полевых данных в отношении улучшения макиевских солонцеватых почв я привести не могу, так как опыты в этом направлении частью только теперь заложены, а частью закладываются в настоящее время.

Считаю необходимым здесь отметить, что темп нашего изучения макиевских солонцеватых почв и солонцов я считаю не соответствующим практическому значению вопроса об улучшении этих почв; он слишком медлен, но не по вине агрохимического отдела Носовской станции. Дело в том, что само Макиевское опытное поле до настоящего времени своей лаборатории не имеет; исследования производятся частью в лаборатории Носовской станции, а главным образом в руководимой мною лаборатории почвоведения Ленинградского лесного института; особых средств на это не отпускается, Агрохимическому отделу приходится расходовать на эти исследования из своих скудных средств, а малочисленному научному персоналу отдела Станции, кроме того, отвлекаться от своих непосредственных задач.

Глава 4. АГРОНОМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОСОВСКИХ ЧЕРНОЗЕМОВ

Теперь мы перейдем к изложению общих выводов по изучению агрохимическим отделом Носовской сельскохозяйственной опытной станции тех свойств носовских черноземов, которые мы назвали агрономическими свойствами почвы. Под этим наименованием мы понимаем те свойства почвы, которые, являясь, конечно, производными основных свойств почвы, влияют непосредственно на урожайность почвы, и которые учитываются величиной урожая; к таким свойствам относятся питательные, водные, воздушные и санитарные свойства почвы. Совокупность основных свойств почвы и метеорологических факторов создает в данной почве известный питательный, водный, воздушный и санитарный режимы, могущие меняться в известных границах из года в год в связи с изменениями условий погоды, вида возделываемого растения и способа обработки почвы.

Само собой разумеется, что всякое изменение, происшедшее в почве, а в том числе и изменение в любом агрономическом свойстве ее, так или иначе влияет на ее основные свойства; например, повышение плодородия почвы азотом вследствие создания земледельцем лучших усло-

вий нитрификации в своей почве, ведет к уменьшению количества гумуса и валового азота в почве; более высокое плодородие почвы фосфором ведет к более быстрому обеднению почвы валовым содержанием в ней этого элемента; итак, для каждого агрономического свойства существует тесная связь между изменением его интенсивности и изменением основных свойств почвы; но в то время, как например, изменение в валовом содержании азота в почве благодаря усилению нитрификации и большему его использованию урожаем в течение одного вегетационного периода, никакими существующими методами определения валового содержания азота в почве учтено не может быть (малая величина изменения, неизмеримо меньшая точность методов определения валового азота), усиление нитрификации тотчас же скажется на росте растений; растение является гораздо более чувствительным реактивом на изменение многих свойств почвы, чем существующие методы исследования ее основных химических и физических свойств; поэтому-то мы и принуждены выделить те свойства почвы, которые непосредственно влияют на растение, изменение которых отражается на его росте и поэтому составляет особую группу агрономических свойств.

Одной из непосредственных и самых существенных задач агрономической химии является разработка таких лабораторных методов, которые давали бы возможность лабораторно учитывать интенсивность различных агрономических свойств почвы и лабораторно же изучать этими методами изменения в почве, происходящие под влиянием изменений метеорологических условий и культурных приемов; в этом направлении положено много труда агрокультурхимиками и почвоведами и уже много сделано, но до конечной цели еще очень далеко.

В сущности говоря, все изменения в основных свойствах почвы являются следствием изменений агрономических свойств ее; последние, изменяясь из года в год на очень незначительные величины, не учитываемые нашими методами определения основных свойств почвы, в конце концов дают в сумме вполне определенные величины; процесс почвообразования, жизни почвы и заключается в изменениях агрономических свойств почв; но мы, несмотря на это, думаем, что свойства эти вполне правильно пока называть именно агрономическими: во-первых, их обнаруживает растение; вопросы связанные с любым из режимов почвы только потому и возникли и стали изучаться, что была обнаружена растением их изменяемость и влияние их на рост; во-вторых, это название исторически справедливо, так как, несомненно, главная заслуга в обнаружении и изучении этих свойств почвы принадлежит агрономам, что вполне естественно и вытекает из самого характера этих свойств.

Конечной целью Агрохимического отдела является познание питательного, водного, воздушного и санитарного режимов в почвах района, влияния их на урожаи, зависимости от тех или других метеорологических условий данного года, а затем изыскание способов изменения этих режимов в желательном направлении. Как видим, задача очень большая и сложная, сложная настолько, что нет даже возможности набросать

более или менее детальной программы * исследования, так как каждый даже небольшой шаг вперед открывает новые пути и подходы к разрешению поставленных задач и ставит новые вопросы, часто принуждающие совершенно изменить намеченные планы исследования.

Приступая к изучению агрономических свойств почвы (что наиболее правильно делать после исследования хотя бы главнейших, основных свойств почв района), можно пойти двумя путями. Можно, составив детальную программу, приступить к систематическому изучению их; но этот путь требует большого научного персонала, хорошо оборудованного отдела, а практические результаты могут получиться не скоро. Другой путь — заняться вплотную изучением в первую очередь только тех агрономических свойств, которые, по данным полевых культур, по-видимому, находятся в изучаемых почвах в первом минимуме, от которых в первую очередь зависит высота получаемых урожаев и без улучшения которых нельзя в достаточной степени поднять урожая.

Этим именно путем и пошел в своих работах Агрохимический отдел Носовской станции. В отношении солонцеватых почв было ясно, что свойствами, определяющими их урожайность, являются в первую очередь их неблагоприятные санитарные свойства (присутствие соды в почвенном растворе) и что их питательный, водный и воздушные режимы имеют здесь второстепенное значение; поэтому в отношении этих почв мы и занялись исследованием их солонцеватости, как первопричины всех их неблагоприятных особенностей, и способов ее уничтожения.

То, что уже сделано в этом направлении Агрохимическим отделом Носовской станции в связи с развитой нами теорией образования солонцов и нашим учением о их коллоидально-химических и физических свойствах, дало возможность наметить рациональный план практического изучения методов улучшения макиевских солонцеватых почв; это, так сказать, непосредственный практический вывод. Но, кроме того, попутно уже, изучение этих солонцов дает нам возможность поставить на очередь другой вопрос, сейчас еще чисто теоретического характера, вопрос об особом генезисе почв днепровского ледникового языка, о чем я говорил выше.

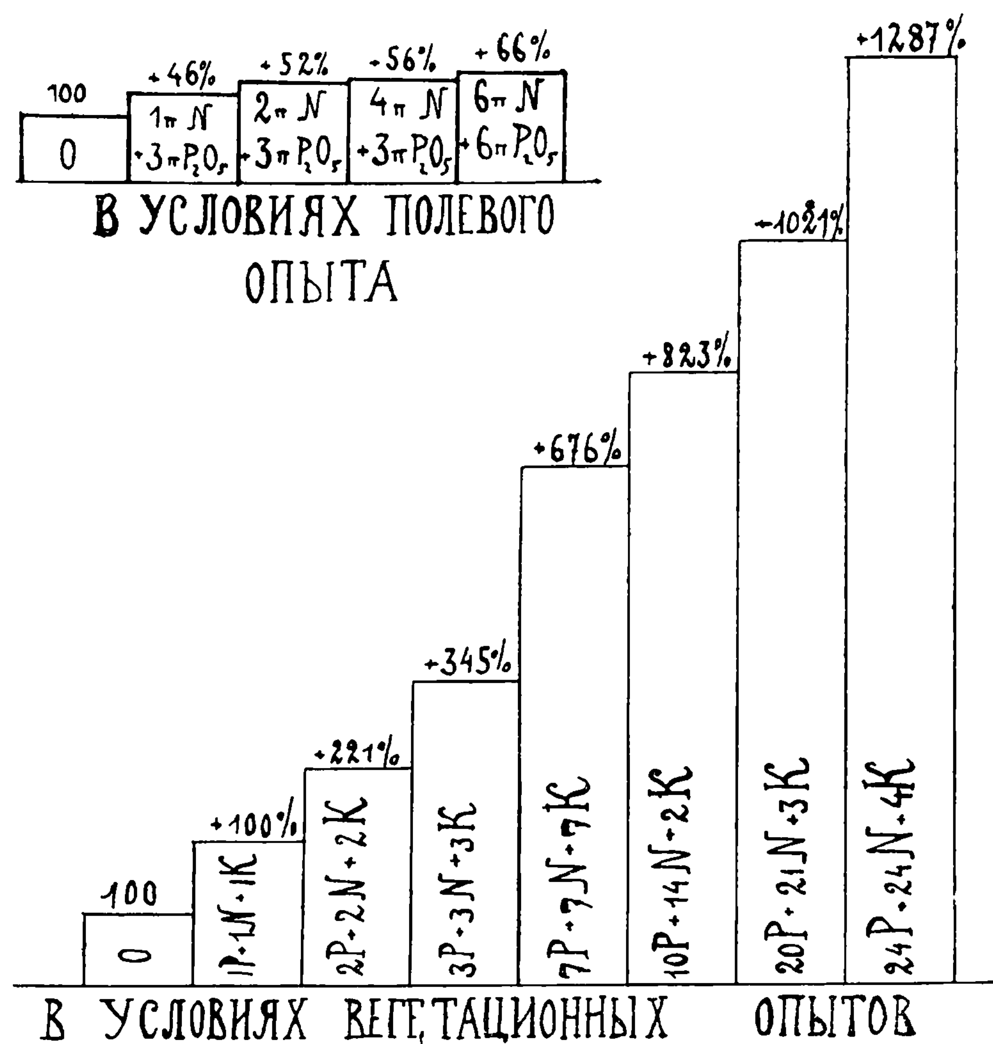
Окончательное решение этого вопроса даст целый ряд интересных агрономических выводов.

Особенности носовских почв по данным полевого опыта

В своих исследованиях агрономических свойств носовских черноземов Агрохимический отдел исходил из данных полевых опытов станции. А полевые опыты показывали на сравнительно малое плодородие этих почв;

---

* Я имею в виду здесь вполне обоснованную и осуществляемую программу, а не такую, которая ходом вещей меняется чуть ли не непосредственно после начала ее действительного осуществления.



На почвах Носовской с.-х. опытной станции в поле удобрение азотом и фосфором очень мало повышает урожаи, а в вегетационных сосудах удобрением можно увеличить урожай в 14 раз

причем малый урожай обусловливается недостатком в почве удобоусвояемых соединений азота и фосфора. Оказывается, таким образом, что при сравнительно больших запасах в почве общего азота и общего фосфора, могущих хватить на большие урожаи в течение очень многих лет, запасы эти находятся в почве в таком состоянии, что и азот и фосфор малодоступны растениям, т. е. оказывается, что носовские черноземы мало деятельны, что те процессы, благодаря которым недоступные растениям соединения азота и фосфора переходят в формы доступные, в этих почвах протекают сравнительно слабо.

Относительно фосфора это явление довольно обычное для черноземов, принципы его еще очень мало выяснены, и вопрос этот отличается своею сложностью; он только намечен Отделом для своей разработки; в первую же очередь Отдел заинтересовался вопросом о малой доступности растениям азотистых соединений носовских черноземов, потому что это свойство отличает их от большинства других черноземов и исследование этого вопроса при современном состоянии оборудования лаборатории Отдела и при имеющихся технических силах давало больше надежды на успех.

Второй особенностью носовских черноземов, по данным полевых опытов, является слабая отзывчивость их на азотистое и фосфорнокислое удобрение (см. рис.). Опыты показывали, что несмотря на сильную потребность почвы и в азоте, и в фосфоре урожаи на полях подымаются очень слабо при внесении азотистого удобрения (чилийская селитра) и фосфорнокислого удобрения (томас-шлак, суперфосфат), в отдельности и совместно; таким образом, по данным полевого опыта оказывается, что фосфаты, основное удобрение черноземных почв вообще, очень слабо дей-

ствуют на носовских черноземах не только в отсутствии азотистого удобрения (что могло быть объяснено очень просто, а именно недостатком в почве усвояемого азота, т. е. тем, что в этих почвах в первом минимуме находится азот, а потому для реагирования на фосфорнокислые удобрения почва требует азотистого удобрения), но и при внесении селитры. Ввиду особого значения этого факта как исходного пункта для дальнейших исследований Агрохимический отдел заложил полевые опыты с удобрением на маленьких делянках по методу Тер-Степанова, позволяющих произвести учет опыта с гораздо большей точностью; эти опыты подтвердили данные полевого опыта, а именно они показали, что селитра почти не повышает урожая; максимальный эффект получается по 1 пуду азота на десятину, а дальнейшее повышение количества вносимого азота (одного и по фосфорнокислому удобрению) не вызывает уже увеличения урожаев.

Таким образом, можно считать установленным, что в носовских почвах фосфорнокислые удобрения дают малый эффект и что такое слабое действие фосфатов вызывается не недостатком усвояемого азота, а какой-то другой причиной, и, по-видимому, той же особенностью этих почв, вследствие которой они мало отзываются и на азотистое удобрение и на совместное удобрение азотом и фосфором.

Точно установить этот факт важно было Агрохимическому отделу и с другой стороны. Дело в том, что полевые опыты Станции показали, что включение в севооборот клевера (клевер в пару, севооборот с клеверным паром) делает почву, раньше слабо отзывчивую на фосфаты (севооборот с майским паром), значительно сильнее реагирующей на фосфаты; в севооборотах с клеверным паром фосфаты заметно больше повышали урожаи и озимой ржи и овса, нежели в севооборотах с майским паром. Как известно, клевер, благодаря усвоению свободного азота живущими на его корнях клубеньковыми бактериями, использует не только минеральный азот почвы, но и свободный азот почвенного воздуха; клевер поэтому не только не истощает почву азотом, но при известных условиях может оставлять почву поля более богатую азотом.

Таким образом, пока не было твердо установлено, что фосфаты на носовских почвах слабо повышают урожаи не только в отсутствии азотистого удобрения, но и по селитре, до тех пор указанное влияние культуры клевера на действие фосфатов можно было объяснить обогащением почвы азотом благодаря культуре клевера и действие клевера на носовских почвах сводить к действию его, как обычного бобового растения *. Против последнего объяснения говорит, между прочим, и тот

* Обыкновенно считают вполне установленным, что бобовые растения, благодаря усвоению свободного азота, оставляют почву обогащенной азотом. На самом же деле это положение нельзя считать доказанным точными исследованиями. Недавно появилась работа Y. E. Greaves — химика и бактериолога опытной станции штата Юта (Соединенные Штаты Северной Америки), в которой доказывается на основании данных Ротамстедской опытной станции, опытной станции штата Иллинойс и опытной станции штата Юта, что бобовые, утилизируя атмосферный азот,

факт, что другие бобовые, с которыми велись подобные же опыты на Носовской станции (вика, эспарцет), такого благоприятного действия на использование злаками фосфорнокислого удобрения не оказывали.

Итак, данные полевых опытов Станции поставили перед Агрохимическим отделом [задачу] выяснить ближайшие причины, почему носовские черноземы:

1) обладают малой подвижностью почвенных азотистых соединений;

2) слабо реагируют на вносимое в них фосфорнокислое удобрение даже в том случае, когда совместно с фосфором почвы удобряются селитрой;

3) значительно лучше используют фосфаты после возделывания на них клевера.

В целях выяснения причин этих особенностей носовских почв Агрохимический отдел произвел и продолжает производить исследование этих почв различными методами и в различных направлениях; почвы изучались вегетационным методом, методом водных культур (выращивание растений в водных вытяжках из почвы); изучался их питательный режим (периодическое исследование содержания в почвах аммиака и нитратов), водный режим (периодическое определение влажности почвы, водопроницаемости) и воздушный режим (капиллярная и некапиллярная влагоемкость) [1]. Остановлюсь прежде всего на показаниях, полученных вегетационным методом.

Показания вегетационного метода

Вегетационные опыты подтвердили результаты полевых опытов в отношении плодородия почвы азотом: оказалось, что и в вегетационных сосудах носовские черноземы обладают очень малым количеством доступного азота; таким образом, и в условиях вегетационного метода процессы минерализации органического азота в этих почвах идут очень слабо; отметим, что в сосудах, не получивших никаких удобрений, урожаи зерна овса, если их перечислить по площади на десятину, оказались даже ниже, чем на полях, между тем как известно, [что] обычно урожаи в сосудах по перечислению на десятину оказываются значи-

---

используют одновременно и почвенный азот даже в случае почв, очень бедных азотом, а в результате тот азот, который они оставляют своими корневыми остатками, не покрывает всего количества азота, взятого из почвы; кроме того, по его данным, бобовые (люцерна) усиливают нитрификацию почвенного азота (т. е. способствуют его расходованию); в конечном итоге в среднем из большого числа исследованных почв штата Юта оказалось, что многолетнее возделывание [бобовых] даже обедняет почву общим азотом по сравнению с многолетней культурой пшеницы (см. *J. E. Greaves.* Does crop rotation maintain the fertility of the soils? — The scient. Monthly, May 1918, p. 458).

[1] В настоящее время под воздушным режимом почвы понимают всю совокупность явлений изменения состава почвенного воздуха во времени и явлений обмена газами между почвенным воздухом и атмосферой. Величина некапиллярной влагоемкости в некоторой степени характеризует скорость этого обмена.— *Прим. ред.*

тельно выше, чем в полевой обстановке, и именно потому, что в сосудах всегда создаются более благоприятные условия для перехода питательных веществ почвы в усвояемое растениями состояние (лучшие условия влажности и проветривания), нежели в почве поля. Очевидно, в рассматриваемом здесь случае сыграла свою роль глубина почвы, используемой корнями овса: овес в сосудах мог пользоваться азотом лишь из слоя почвы глубиной в 20 *см*, тогда как в поле он использует азот всего гумусового горизонта почвы, простирающегося в носовских черноземах до метра и больше.

Но если в отношении органических азотистых соединений в носовских черноземах вегетационные опыты показали согласно с полевыми на малую их подвижность, то в отношении отзывчивости этих почв на азотистые и фосфорнокислые удобрения показания этих двух методов совершенно не сошлись. Мы видели, что в условиях полевой обстановки на почвах севооборотов без клевера и азотистые и фосфорнокислые удобрения, и то и другое совместно, подымают урожаи очень слабо, а на почвах севооборотов с клевером фосфаты действуют значительно сильнее; в условиях же вегетационного опыта как на тех, так и на других почвах удобрения действовали очень сильно; полное удобрение повышало урожай зерна до 60 и более грамм на сосуд, при урожае его без удобрения всего около 5 *г*, причем почвы, бывшие и не бывшие под клевером, в этом отношении проявляли себя в общем одинаково.

Из сопоставления указанных факторов приходится сделать вывод, что те особенности носовских почв, которые отмечаются полевыми опытами (слабое реагирование на удобрение и усиление этой реакции под влиянием культуры клевера), исчезают при выращивании растений в сосудах. Это указание явилось чрезвычайно существенным для дальнейшего хода выяснения причин особых свойств носовских почв, так как нам известно, чем в главном отличаются условия вегетационного опыта от условий полевого опыта; мы знаем, что в сосуде растения поставлены в лучшие условия влажности и проветривания почвы, нежели в полевой обстановке.

Таким образом, результаты вегетационного опыта позволили сделать такое заключение, что слабое реагирование носовских черноземов на минеральные удобрения является результатом присущего им водного или воздушного режима; иными словами, вегетационный опыт показал нам, *что находящаяся в этих почвах несомненно в первом минимуме потребность в азоте и в фосфоре удовлетворяется в полевой обстановке уже очень небольшими количествами азотистого и фосфорнокислого удобрения, давая при этом соответственно малое повышение урожая, а после этого в первом минимуме оказываются в этих почвах или водные свойства, или их воздушный режим, или то и другое вместе, и что, таким образом, причину слабой реакции носовских почв на минеральные удобрения надо искать в особенностях их водного и воздушного режима.*

Показания лабораторных полевых делянок

Заложенные по этому вопросу Агрохимическим отделом специальные полевые опыты на маленьких делянках (по способу Тер-Степанова) со своей стороны подтвердили это заключение и дали возможность, кроме того, еще ближе подойти к причинам явления. В этих опытах были заложены делянки с различной комбинацией удобрений с искусственной поливкой и без поливки; в результате оказалось *что поливка не повышает урожай*, т. е. в условиях полевого опыта после удовлетворения небольшой потребности почвы в азоте и фосфоре не недостаток воды является причиной дальнейшего нереагирования почвы на удобрение, не вода находится тогда в почве в первом минимуме.

Кроме делянок с поливкой, в этих опытах были заложены делянки с улучшенным воздушным режимом; так как опыт носил только предварительный, ориентировочный характер, то, во избежание непроизводительного расхода очень скудных средств отдела, улучшение воздушного режима было сделано очень примитивно, а именно: на двух параллельных сторонах делянки буром делались две скважины на глубину до 50 *см* и в эти скважины вставлялись стеклянные трубки. Такие делянки с повышенным доступом воздуха в почву были заложены с различной комбинацией удобрений, с поливкой и без поливки. И вот, несмотря на несомненно слабое улучшение аэрации почвы при таком примитивном устройстве, результат получился совершенно определенный: на делянках с трубками урожай всюду был *значительно выше, чем на делянках без трубок; в присутствии трубок и поливка производила положительный эффект.*

Таким образом, эти опыты определенно показали, что в носовских почвах при *обычных в этой местности метеорологических условиях* (подчеркиваю это, как очень важное обстоятельство, на котором в дальнейшем остановлюсь подробнее) имеется очень неблагоприятный воздушный режим; почвы эти плохо проветриваются, и это обстоятельство и является основной причиной низких сравнительно урожаев на этих почвах и слабой реакции их при этом на минеральные удобрения, т. е. *в первом минимуме в этих почвах находится воздушный их режим;* нужно улучшить его, чтобы вызвать действие удобрения; внесенные в почву азотистые и фосфорнокислые удобрения будут оставаться в почве почти неиспользованными, если не повысить аэрацию почвы, так как дальнейшее развитие растений останавливается вследствие плохой аэрации почвы, а не недостатка в питательных веществах.

Особые свойства подпахотного горизонта носовских почв

Особенно неблагоприятным воздушным режимом должен обладать в носовских почвах подпахотный горизонт, именно слой почвы примерно от 20 до 50 *см* от поверхности почвы; вышележащий слой, конечно, находится в лучших условиях аэрации, потому что он ближе к атмосферному воздуху и разрыхляется обработкой почвы; нижележащие слои почвы, во-первых, имеют уже меньшее значение в жизни растений, а во-вторых, плохие условия аэрации в них должны отражаться менее вредно на жизни растений, нежели в подпахотном слое; дело в том, что одно из существенных неблагоприятных следствий плохой аэрации почвы то, что в этих условиях почвенные процессы имеют характер восстановительных, а не окислительных, протекающих при достаточном доступе воздуха.

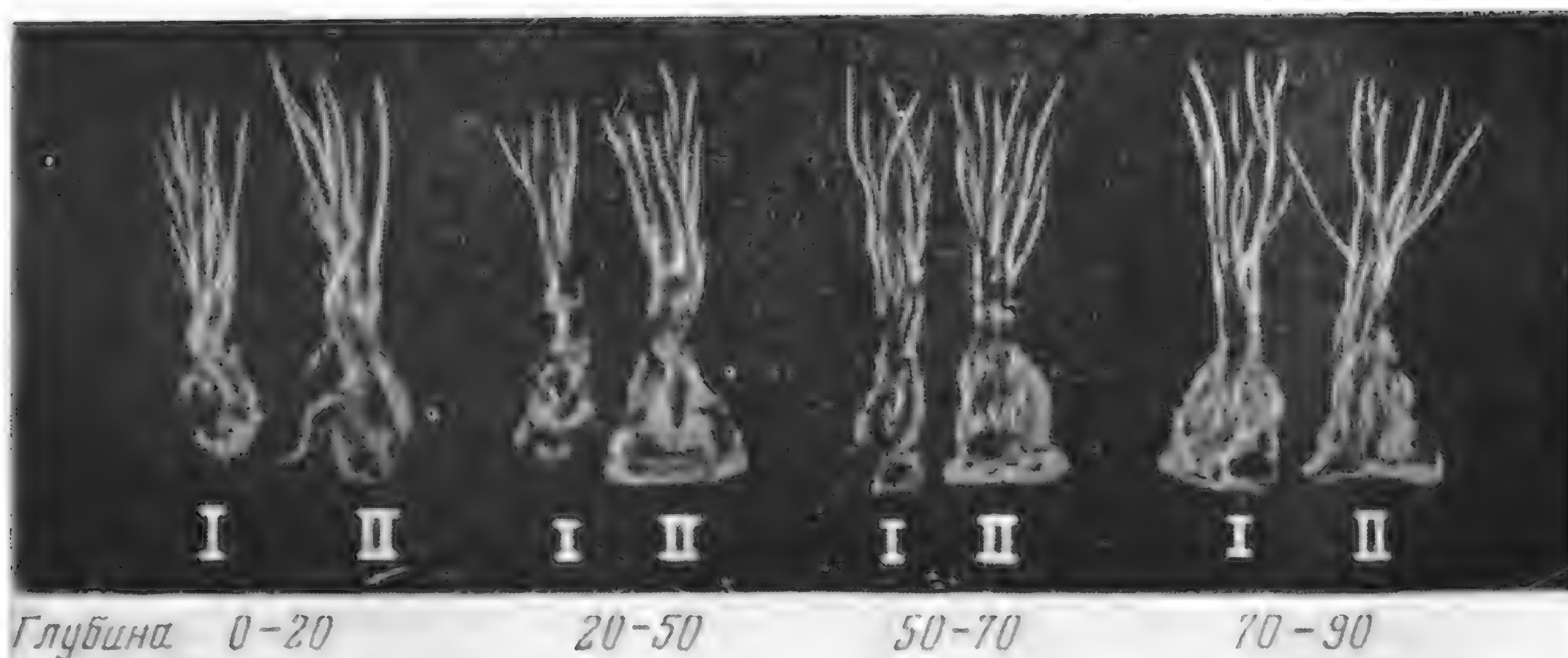
Очень многие недостаточно окисленные соединения (низкие степени окисления) оказываются ядовитыми для растений (например, закисные соединения железа); особенно много разнообразных вредных веществ может образовываться в почве при разложении органических веществ в условиях недостатка кислорода. В слое носовской почвы ниже 50 *см* образование таких вредных растениям соединений ограничено малым содержанием в нем гумуса и отмирающих растительных остатков (малое содержание там корней), а кроме того, в этих нижних слоях содержатся уже углесоли кальция и магния, которые обладают способностью понижать ядовитость вредных растениям соединений.

Исследования непосредственно показывают, что именно слой носовских почв глубиной от поверхности в 20 *см* и примерно до 50 *см* обладает особенно неблагоприятными свойствами для роста растений. Так, на это указывают вегетационные опыты с различными почвенными горизонтами носовских почв: на этом слое урожаи и без удобрения и по различным комбинациям удобрений, а также по полному удобрению, получаются несколько ниже, нежели на других горизонтах; предполагать, что в сосудах почва этого горизонта находится в условиях плохого проветривания, конечно, нельзя; в вегетационных сосудах условия аэрации очень хорошие; приходится допустить, что при этих опытах в слое 20—50 *см* сохраняются еще те вредные продукты, которые образовывались в этом слое, когда он находился на своем месте в почве, и когда там была недостаточная аэрация; точнее сказать, что в сосудах с этим слоем было больше ядовитых веществ, чем в сосудах с другими слоями, так как мы, в сущности, не можем утверждать, что другие слои почти их не содержат; опыт дает лишь сравнительные показания.

На существование в носовских почвах каких-то вредных соединений указывают также опыты выращивания овса в водных вытяжках из различных горизонтов этих почв; вытяжки определенно задерживали развитие растений, и это задерживающее влияние понижалось предварительным кипячением вытяжки, что указывает на переход в водную вытяжку каких-то ядовитых веществ, разрушающихся кипячением.



В севооборотах с майским паром в почвах опытной станции подпахотные слои малоплодородны. Особенно неблагоприятен слой между 20—50 *см*



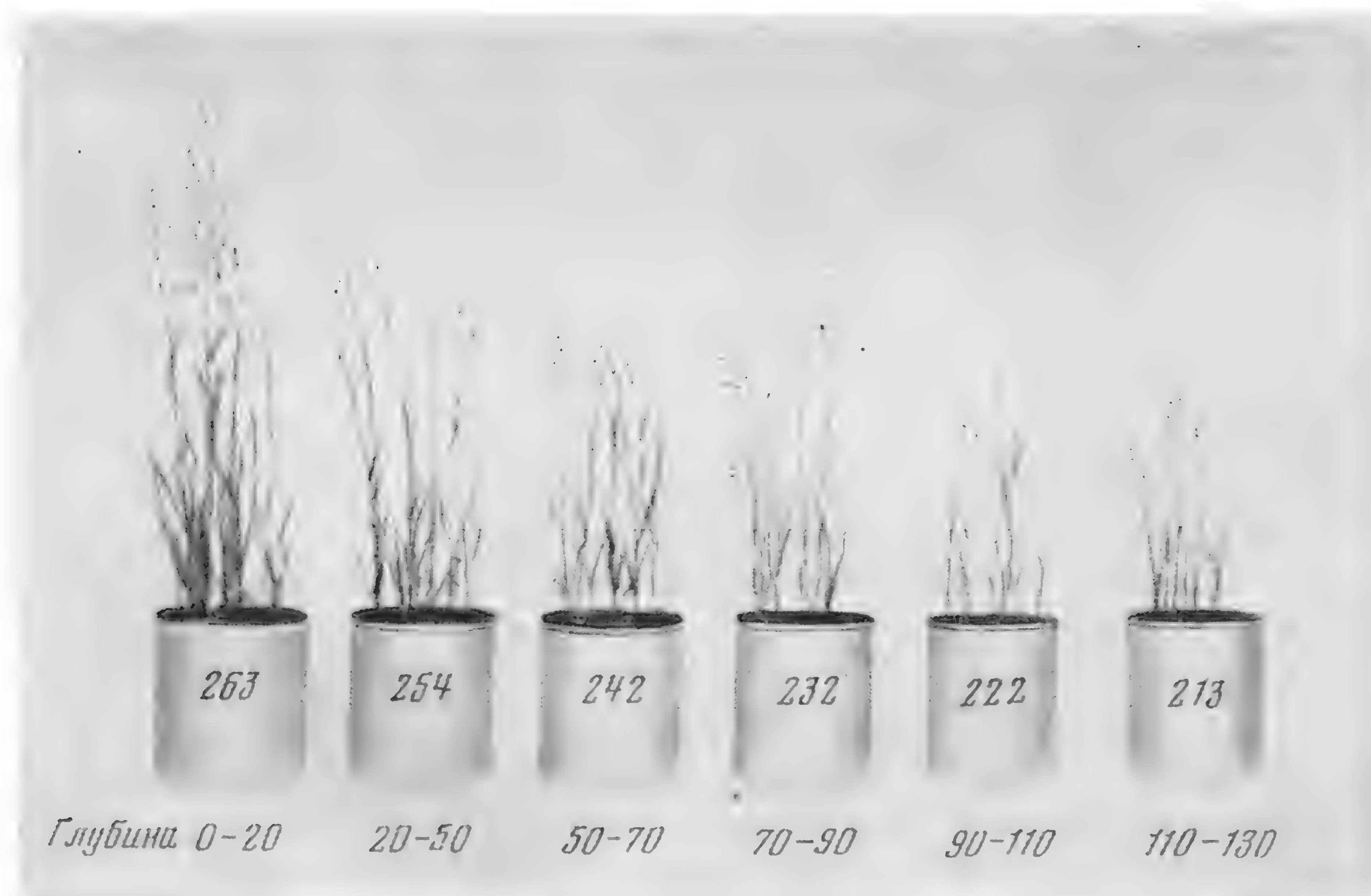
Водные вытяжки из верхних слоев почвы севооборота с майским паром (*I*) неблагоприятны для развития овса. После кипячения вытяжек развитие растений улучшается (*II*)

ВЛИЯНИЕ КУЛЬТУРЫ КЛЕВЕРА НА ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ НОСОВСКИХ ПОЧВ

Введение в севооборот клевера, как мы указывали выше, повышает использование почвами Носовской станции минеральных удобрений. Раз такому использованию на почвах полей без клевера препятствовала пониженная аэрация, то отсюда мы должны сделать вывод, что *культура клевера улучшает воздушный режим носовских почв.* Исследования, произведенные в этом направлении, действительно, подтверждают это.

Подпахотный слой носовских почв с полей клеверного севооборота

Укажу прежде всего, что вегетационные опыты на различных горизонтах почвы, бывшей под клевером, не дают каких-либо указаний на неблагоприятные особенности подпахотного слоя у этой почвы; те плохие качества этого слоя, которые определенно проявлялись на почве, не бывшей под клевером, исчезали после возделывания на ней клевера. То же показывают водные вытяжки: водные культуры на этих вытяжках



В севооборотах с клеверным паром и нижние слои почвы Носовской сельскохозяйственной опытной станции сравнительно более урожайны, чем в севооборотах с майским паром, а подпахотный слой 20—50 *см* мало отличается по урожайности от пахотного

из почвы, бывшей под клевером, не обнаружили вредных веществ. Но, кроме этих косвенных указаний, Агрохимический отдел получил данные, непосредственно показывающие на улучшение воздушного режима носовских почв культурой клевера.

Капиллярная и некапиллярная порозность и водопроницаемость почв майского и клеверного севооборотов

В почве можно различать промежутки, или поры двоякого рода: узкие, малого диаметра — капиллярные поры, и более широкие — некапиллярные пространства. Если колонку почвы высотою, например, в 10 *см* опустить нижним концом в воду, то вода будет подыматься по капиллярным порам; насытив таким образом такую колонку водой, можно определить затем высушиванием количество воды; зная объем взятой колонки почвы и количество капиллярной воды, заполняющей все капиллярные поры, будем знать процентное (объемное) содержание в почве капиллярных пространств (капиллярная порозность почвы). С другой стороны, зная объемный вес почвы и удельный вес, будем знать общее содержание в нашей почве (в объемных процентах) всех пор, как капиллярных, так и более крупных, т. е. общую порозность. Разность между общей порозностью и капиллярной порозностью даст нам процент (объемный) некапиллярных пор в почве, т. е. некапиллярную ее порозность.

Из самого определения понятия капиллярной порозности следует, что капиллярные поры могут быть при известных условиях влажности почвы сплошь заполнены водой; в таких случаях капиллярная порозность не может играть какой-либо роли в проветривании почвы. В почвах, обладающих только капиллярными порами, в дождливые периоды, в периоды таяния снега, а если грунтовые воды стоят близко от поверхности, то в бездождные периоды, доступ воздуха в почву будет прекращен, почвенный воздух не будет проветриваться, а значит, воздушный режим почвы будет неудовлетворителен. В таких почвах даже при сравнительно малой их влажности воздушный режим будет неблагоприятным для растительности, так как капилляры почвенных пространств не представляют из себя трубок одинакового диаметра на всем их протяжении, а в сужениях таких трубок попавшая туда вода может задерживаться очень долго и закупоривать собою такую трубку.

Иное имеет место в некапиллярных пространствах; вода, попадающая туда сверху, не будет удерживаться почвой, а будет легко уходить вниз; водою снизу они не могут заполняться, потому что диаметр их слишком велик. Поэтому проветривание почвы происходит по преимуществу по некапиллярным порам; чем больше их в почве, тем совершеннее будет происходить аэрация почвы, тем лучше будет воздушный режим почвы. А так как мерилом количества некапиллярных пространств в почве служит некапиллярная порозность почвы, то величина ее, определенная в естественном состоянии почвы, может служить мерилом сте-

пени проветриваемости почвы и будет указывать на состояние ее воздушного режима.

Определение некапиллярной порозности в носовских почвах показало, что таковой в почвах севооборотов без клевера в сущности нет; получались величны, близкие к нулю; в почве же клеверного севооборота некапиллярная порозность оказалась заметно выше и выражалась уже вполне реальной величиной. Непосредственный вывод из этих определений тот, *что воздушный режим в носовских почвах неудовлетворителен и что он улучшается после культуры клевера.*

Совершенно то же показывают данные определения водопроницаемости почв на полях Станции; на почвах клеверного севооборота она оказалась в два с лишним раза больше, чем в почвах майского севооборота; а так как большая водопроницаемость указывает на более крупную порозность, то вывод опять тот же: культура клевера улучшает воздушный режим носовских почв.

Минерализация органического азота в почвах майского и клеверного севооборотов

Мы отмечали выше слабую подвижность органических соединений азота в носовских почвах; превращение этих соединений азота в минеральные, в аммиак и нитраты, т. е. микробиологические процессы аммонизации и нитрификации в этих почвах очень слабо идут; в этом направлении в распоряжении Агрохимического отдела имеется уже очень большой систематический цифровой материал; все результаты определенно показывают, что процессы минерализации азота задерживаются какими-то неблагоприятными факторами. На один такой неблагоприятный фактор мы уже указывали, когда говорили о вероятном происхождении носовских почв из некогда бывших солонцеватых почв путем их рассолонцевания; при этом, как мы видели, должна была теряться вымыванием часть азотистых органических соединений почвы; поэтому носовские почвы являются вообще обедненными легко минерализующимися соединениями азота; это обстоятельство, конечно, отражается на количествах образующихся в почвах полей Станции аммиака и нитратов. Но это обстоятельство является лишь одной из причин слабого хода нитрификации в носовских черноземах.

Сам ход нитрификации в зависимости от времени года, исчезновение нитратов под озимыми после первых же осенних дождей, очень малое содержание их под озимыми в апреле и мае, все это указывает, что во время высокой влажности почвы, когда особенно сказываются в этих почвах неблагоприятные условия воздушного режима, микроорганизмы почвы не могут минерализовать и тот доступный им органический азот почвы, который имеется в этих почвах (а во влажные периоды года доступного органического азота в почве должно быть больше, чем в сухое время года); таким образом, можно определенно говорить, что слабая минерализация органического азота в носовских почвах

также указывает на неблагоприятный воздушный режим этих почв: процессы минерализации органических соединений азота как процессы окислительные и совершающиеся в почве под влиянием аэробных микроорганизмов, требуют для успешного протекания хорошего проветривания почвы.

Культура клевера и в отношении процессов нитрификации оказывает положительное действие на носовские черноземы; как показывают исследования, процессы эти в почве после клевера более энергичны и более устойчивы; конечно, известную роль играют здесь корни клевера, остающиеся в почве после его уборки и дающие легко доступный и хорошо распределенный в почве материал для минерализации азота; но этим одним объяснить все влияние культуры клевера на ход нитрификации очень затруднительно; имеется ряд указаний на то, что при этом повышается нитрификация органического азота самой почвы, что опять-таки подтверждает способность клевера улучшать воздушный режим носовских черноземов.

Теперь нам надо перейти к выяснению ближайших причин неудовлетворительного воздушного режима в носовских черноземах; в дальнейшем я постараюсь показать, какие основные свойства носовской почвы и каким именно образом создают неблагоприятные условия их проветривания. Тогда станет понятным улучшающее влияние клевера и другие явления, наблюдаемые на этих почвах.

ПРИЧИНЫ НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО РЕЖИМА В НОСОВСКИХ ПОЧВАХ

Воздушный режим почвы находится в зависимости от многих условий: климата, высоты залегания грунтовых вод, рельефа и свойств почвы и материнской породы. Климат (атмосферные осадки и температура) может быть такой, что избыточное увлажнение почвы будет иметь место независимо от свойств почвы и материнской породы; значит, и плохой воздушный режим почвы не будет зависеть от ее свойств; то же можно сказать и про такие факторы заболачивания, как рельеф, высота грунтовых вод и водонепроницаемость материнской породы; когда эти факторы будут резко выражены в направлении заболачиваемости, то свойства самой почвы будут играть ничтожную роль, и проветриваемость почвы будет мало зависеть от этих свойств.

Иное дело для таких почв, как носовские; степень увлажнения почвы здесь умеренная, грунтовые воды залегают достаточно низко и вызывать заболачивание не могут; отрицательные элементы рельефа (и микрорельефа) выражены слабо; материнская порода — легкосуглинистый лёсс, достаточно водопроницаем, особенно если принять во внимание богатства его карбонатами щелочноземельных металлов. Если в этих почвах может быть недостаточное проветривание, то это значит, что при существующих там метеорологических условиях свойства самой почвы таковы, при которых в течение всего вегетационного периода или же в некоторые

части его происходят в той или другой степени закупорка почвенных пор водою и затрудненность в обмене газами почвы и атмосферы. Несомненно, такие именно условия и имеются в носовских почвах и вызываются они механическим составом этих почв.

Роль отдельных механических фракций в водном и воздушном режиме почвы

В отношении водного и воздушного режима можно различать три обширные механические фракции в мелкоземистой части почвы (части почвы, частицы которой мельче 1 *мм*; частиц крупнее 1 *мм*, т. е. скелета, носовские почвы не содержат):

1) фракция песка с частицами в диаметре до 0,01 *мм*,

2) фракция пыли с частицами в диаметре от 0,01 до 0,0001 *мм* (или 0,1 *мкм*).

3) коллоидальная фракция с частицами в диаметре меньше 0,0001 *мм* (или 0,1 *мкм*).

Фракция песка благодаря крупизне своих частиц обладает большой водопропускающей способностью; капиллярное поднятие воды у более мелкой части этой фракции быстрое и достаточно высокое; фракция неспособна давать агрегаты своих частиц, она не образует структурных элементов, так как частицы такой крупизны не обладают клеющей, цементирующей способностью. Если бы носовские почвы состояли только из этой фракции, то, несмотря на отсутствие у них тогда структурности, они не могли бы страдать от слабого проветривания; воздушный режим в этом случае был бы очень хороший. Но вместе с тем почвы страдали бы от засухи, так как способность накоплять и сохранять воду у таких почв была бы слабая; кроме того, они были бы бедны питательными элементами.

Фракция пыли также неспособна, вследствие сравнительной крупизны ее частичек и отсутствия поэтому у ней клеющей способности, давать агрегаты частичек; она так же бесструктурна, как и фракция песка; но частицы ее, прилегая друг к другу, образуют, вследствие их малой величины, очень узкие капиллярные ходы; вследствие этого водопроницаемость фракции пыли очень мала; почва, состоящая только из такой фракции, заплывала бы, заболачивалась бы после всякого более или менее обильного дождя; такая почва обладала бы очень плохим воздушным режимом. Что касается водоудерживающей и водонакопляющей способности, то она у такой почвы была бы выше, нежели у почвы, состоящей только из песчаной фракции. Богатство питательными элементами у этой почвы также было бы выше. Но как та, так и другая почвы отличались бы малой реакционной способностью, малой деятельностью и малой приспособляемостью к изменяющимся окружающим условиям.

Эти свойства появляются у почвы лишь благодаря присутствию в ней последней из указанных выше фракций, а именно коллоидальной фракции. Частички ее настолько мелки, способность набухать настоль-

ко велика, и сила, удерживающая воду при набухании, так громадна, что уже тонкий слой этой фракции, набухший водой, должен быть непреодолимым препятствием для продвижения воды как сверху вниз, так и снизу вверх; само собой разумеется, что если бы почва состояла только из этой коллоидальной фракции и если бы к тому же частицы этой фракции были бы в раздельном друг от друга состоянии, то такая почва обладала бы и водным и воздушным режимами, совершенно непригодными для возделывания растений.

Но для того, чтобы почва обладала такими плохими физическими свойствами, нет даже надобности, чтобы она состояла целиком из свободных коллоидальных частиц; примеси их уже в несколько процентов к остальным фракциям достаточно, чтобы заметно ухудшить водные и воздушные свойства почвы. Выше мы подробно рассмотрели такой случай — это почвы солонцеватые и солонцы, в которых коллоидальная часть почвы (почвенный поглощающий комплекс) содержит поглощенный натрий; тогда именно коллоидальные частички почвы (в большем или меньшем количестве — в зависимости от того, какую часть его поглощенных катионов составляет натрий) будут находиться во влажной почве в свободном состоянии; их клеющая способность (которая у этой фракции выражена очень сильно) будет проявляться только в *сухом состоянии* и выражаться тогда в образовании очень прочной и очень крупной структуры. Если же в коллоидальной фракции поглощенного натрия нет (а такова эта часть в несолонцеватых носовских черноземах), то клеющая ее способность проявляется прежде всего в образовании из отдельных коллоидальных частиц очень прочных, водоустойчивых микроскопических агрегатов, т. е. в образовании микроструктуры.

Таким образом, коллоидальная фракция почвы, в противоположность песчаной ее фракции и фракции пыли (фракций бесструктурных), является структурной фракцией; присутствию ее почва обязана своей структурностью и от величины и свойств этой фракции (чем и в какой мере она насыщена) зависит величина и прочность структуры; остальные две фракции почвы играют в этом отношении подчиненную, пассивную роль.

Механический состав и обусловливаемая им структурность носовских почв

Обратимся теперь к механическому составу носовских почв. В них в среднем около 6% фракции песка, около 90% фракции пыли и только около 3% коллоидальной фракции. Мы видим, что в этих почвах имеется громадное преобладание именно той фракции, которая создает в почве такие физические свойства, при которых воздушный режим может быть очень неблагоприятным. Песчаная фракция очень мала и не может поэтому в достаточной мере разбавить собою фракцию пыли и создать некапиллярные промежутки; коллоидальная фракция еще меньше и поэтому, хотя она и не содержит поглощенного натрия, в силу чего могла бы дать прочные микроструктурные элементы, которые в свою очередь

склеили бы частички пыли в более крупные макроструктурные элементы, создав этим некапиллярные пространства, она не в состоянии в достаточной степени нейтрализовать вредное свойство фракции пыли в отношении воздушного режима — ее бесструктурность.

Почвы носовские, вследствие очень сильного преобладания в них неспособной к структурности фракции пыли и очень малого содержания в них коллоидальных веществ, должны быть почти бесструктурными почвами. И действительно, почвенные разрезы показывают отсутствие на стенке разреза какой-либо структуры; стенка имеет сплошной, однородный, слитой вид. При таком характере сложения почва слагается почти целиком из отдельных, самостоятельных механических элементов пыли, среди массы которой местами вкраплены отдельные элементы песчаной фракции и микроструктурные элементы коллоидальной фракции; поэтому почти вся масса почвенных пор представлена капиллярами, а некапиллярной порозности практически не имеется. А отсюда, как мы видели выше, и вытекают особенности воздушного режима носовских почв: во влажные периоды года (осенью и весной), а также после отдельных обильных дождей, выпавшая вода, проникая с поверхности в капиллярные пространства почвы, закупоривает их и прекращает воздушный обмен между почвой и атмосферой; дыхание корневой системы затрудняется, деятельность аэробных микроорганизмов (а в том числе и минерализаторов азота) ослабевает и начинают развиваться анаэробные, восстановительные процессы, с образованием ядовитых для растений главным образом, по-видимому, органических веществ.

Эти явления должны происходить при этом во всей почвенной толще, но в пахотном горизонте они ослаблены близостью почвы к атмосферному воздуху и действием механической обработки этого слоя; в малогумусных и богатых углекислым кальцием слоях они также не могут так резко выражаться вследствие меньшего потребления кислорода здесь микроорганизмами, количество которых в этих слоях значительно ниже, нежели в более поверхностных, и вследствие антитоксического влияния углесолей на ядовитость растениям восстановленных продуктов и свертывающего действия этих солей на мелкие почвенные частицы; вследствие этого свертывающего действия карбонатные горизонты носовских почв более богаты структурными отдельностями, нежели более верхние бескарбонатные горизонты, поэтому в них должно быть больше некапиллярных пространств, а значит, и больший запас воздуха. Промежуточный же слой (подпахотный) между пахотным и карбонатным будет, очевидно, находиться в отношении воздушного режима и явлений, связанных с этим режимом, в наиболее неблагоприятном положении.

Кроме того, имеется в носовских почвах еще одно обстоятельство, ухудшающее воздушный режим именно бескарбонатных, поверхностных слоев почвы. Имею в виду так называемую ненасыщенность почвы основаниями.

Явление ненасыщенности основаниями поглощающего комплекса в носовских почвах

Ввиду того, что явление ненасыщенности почвы основаниями, как мы увидим ниже, играет некоторую агрономическую роль на почвах Носовской станции, а несколько севернее Носовки, но в пределах еще днепровского ледникового языка, роль эта очень существенна, я несколько остановлюсь на выяснении этого явления.

Когда почвы или верхние их горизонты процессами вымывания практически * лишены простых солей, тогда почвенная влага начинает «разлагать» непростые соли почвы, т. е. ее силикаты, алюмосиликаты и гуматы. Процесс разложения в первой своей стадии состоит в том, что свободный водородный ион воды постепенно, очень медленно начинает вытеснять те основания, которые входят в непростые соли почвы; происходит реакция взаимного обмена между свободным водородным ионом воды и основаниями твердых солей почвы, т. е. то явление, которое носит название поглотительной способности почвы в тесном смысле слова и о котором мы выше подробно говорили в отношении поглощения почвою из растворов катионов солей; теперь это явление мы обобщаем: почвою могут поглощаться с взаимным обменом не только основания солей, т. е. металлические катионы, но и свободный водородный катион воды.

Последняя реакция отличается от реакции поглощения металлических катионов (например, натрия хлористого натрия) лишь количественно: в то время как натрия-иона в почвенном растворе может быть много (например, в солончаках), в зависимости от степени засоления почвы, а иона кальция в почвах, содержащих углекислый кальций, до 0,5 *г* на литр почвенного раствора, в чистой воде свободного водородного иона имеется всего одна десятимиллионная грамма; в воде, содержащей углекислоту, свободного водородного иона будет больше, но во всяком случае значительно меньше, чем, например, иона кальция в воде, насыщенной двууглекислым кальцием.

Особенности процесса вытеснения водородным ионом оснований из гуматов, силикатов и алюмосиликатов почвы таковы:

1. Процесс этот совершается между свободным водородным ионом почвенного раствора и твердыми частичками означенных выше соединений; поэтому в заметной степени он может совершаться только в коллоидально распыленной части почвы, т. е. в почвенном поглощающем комплексе.

2. Свободного водородного иона в почвенной влаге ничтожные количества; поэтому вступлению водородного иона в поглощающий почвенный

---

* Во избежание недоразумения должен сделать пояснение. Всякая почва, покуда она остается почвой, т. е. на ней может произрастать растительность, содержит простые соли, иначе она была бы бесплодной; но содержание этих солей (и концентрация их в почвенном растворе) может быть чрезвычайно низкой; такую почву мы и называем практически лишенной простых солей.

комплекс на место находящихся там поглощенных оснований препятствует (по закону действия масс) уже самая небольшая засоленность почвы растворимыми солями и содержание в почве углесолей кальция и магния; если мы допустим, что водородный ион почвенной влаги при этих условиях вступит в поглощающий почвенный комплекс, то он оттуда тотчас же должен быть вытеснен катионами солей, находящихся в почвенном растворе.

3. Поглощающий почвенный комплекс, содержащий поглощенный водород, значительно менее устойчив в отношении действия воды, нежели тот же комплекс, содержащий только поглощенные кальций и магний: он становится значительно более доступным действию почвенных вод, потому что замена поглощенного кальция в нем водородом понижает его клеющую способность; во влажном состоянии его микроструктурные элементы распыляются до свободных коллоидальных частиц, поверхность воздействия на него воды увеличивается, а вместе с этим увеличивается и результат такого действия, т. е. разложение и растворение. Поэтому в черноземах, в которых совершается вступление водородного иона в их поглощающий комплекс, происходит его разрушение с вымыванием из почвы получающихся продуктов; чернозем постепенно обедняется гумусом и коллоидально раздробленной алюмосиликатной частью,— чернозем, как говорится, деградирует.

Носовские черноземы находятся теперь в переходной стадии между почвами, в поглощающий комплекс которых водородный ион не может вступать, так как концентрация катионов солей в их почвенных растворах слишком еще высока, и почвами, где эта концентрация во всем почвенном разрезе уже настолько низка, что вхождение водородного иона в поглощающий комплекс совершается и ион этот является постоянной составной частью поглощенных катионов поглощающего комплекса. *Носовские черноземы представляют, таким образом, переход от почв, насыщенных основаниями (т. е. не содержащих поглощенного водорода), к почвам, ненасыщенным основаниями (т. е. содержащим поглощенный водород).*

Такое промежуточное положение носовских черноземов обусловливается тем, что верхние их горизонты (примерно толща от 0 до 60 *см*) уже очень сильно обеднены простыми солями, и легкорастворимыми, и труднорастворимыми, они подготовлены, так сказать, к переходу в ненасыщенное состояние; в них самих нет ничего, что бы могло воспрепятствовать этому процессу. Но дело в том, что нижние почвенные горизонты (от 60 *см* и ниже) содержат углесоли кальция и магния, растворы которых при высыхании почвы подымаются капиллярно в верхние горизонты и препятствуют образованию ненасыщенности; такое влияние углесолей носовских почв на верхние горизонты этих почв может иметь место лишь в те периоды, когда движение почвенной влаги совершается снизу вверх; в периоды же, когда это движение идет в обратном направлении, сверху вниз, когда почва промывается атмосферными осадками (дождливые периоды, период таяния снега), тогда ненасыщенность

появляется в верхних горизонтах носовских черноземов; но так как сменяющие эти периоды засушливые времена года уничтожают образующуюся ненасыщенность, то последняя не может накопляться в почве. *Поэтому верхние горизонты носовских черноземов периодически бывают то насыщенными основаниями (сухое время года), то ненасыщенными основаниями (влажное время года), причем степень ненасыщенности (количество поглощенного водорода) выражается очень малой величиной.*

В то время, когда носовские почвы содержат поглощенный водород, их поглощающий комплекс усиленно разлагается и вымывается водой, и часть его (величина ее зависит от количества поглощенного водорода) находится в почве не в виде агрегатов, а в виде отдельных не склеенных между собою коллоидальных частиц. Как указывалось, ненасыщенное состояние совпадает с периодами сильного увлажнения почвы, т. е. как раз с теми периодами, когда в носовских почвах создаются условия плохого проветривания; ненасыщенность, способствуя распылению агрегатов поглощающего комплекса, очевидно, еще дальше ухудшает аэрацию почвы: свободные коллоидальные частицы почвы, попадая в капиллярные поры, еще больше суживают их диаметр; для значительного эффекта в этом направлении нет вовсе надобности, чтобы свободных коллоидальных частиц было много в почве, так как достаточно уменьшения диаметра капиллярного хода в одном каком-либо месте вследствие застревания там нескольких коллоидальных частичек, чтобы значительно замедлить его водопропускающую способность.

Улучшение агрономических свойств носовских почв

Все вышеизложенное заставляет нас придти к тому заключению, что и *малая урожайность и слабое реагирование носовских черноземов на удобрения вызывается в первую очередь их неблагоприятным для деятельности почвы и аэробных микроорганизмов и для роста растений воздушным режимом, который в свою очередь является результатом их бесструктурности и частичной ненасыщенности их поглощающего комплекса основаниями в критические в отношении этого режима периоды жизни почвы.*

Все культурные приемы, улучшающие воздушный режим этих почв, должны повышать их урожайность и отзывчивость на удобрение. Улучшение же воздушного режима при данных метеорологических условиях может быть достигнуто приемами, создающими структуру в этих почвах. С этой точки зрения понятно лучшее действие на этих почвах навоза, нежели минеральных удобрений: бесструктурность в носовских почвах является следствием главным образом относительной бедности их коллоидальными веществами; навоз увеличивает их количество в почве; кроме того, вместе с ним вносятся в почву грубораздробленные вещества; таким образом, он улучшает воздушный режим. Но, само собой понятно, что улучшение это не может быть достаточно резким, так как при 2400 пудах на десятину вносится всего около 800 пудов сухого

вещества, т. е. количество органических веществ в слое почвы в 20 *см* при этом повышается на 0,3—0,4%, а количество коллоидально раздробленного вещества повышается при этом не более чем на 0,1% от веса почвы; поэтому на носовских почвах навоз действует хотя и сильнее, нежели минеральные удобрения, но в общем все-таки слабо; полному его действию препятствует недостаточно улучшенный им воздушный режим.

Влияние культуры клевера на структурность носовских почв

Теперь мы можем перейти к дальнейшему выяснению вопроса о влиянии культуры клевера на агрономические свойства носовских почв. Оставляя в стороне влияние этого растения, как бобового, на азотистый баланс почвы, мы остановимся только на том его действии, вследствие которого последующие культуры злаков оказываются в состоянии лучше использовать минеральные удобрения. Из предыдущего мы видели, что минеральные удобрения слабо действуют на этих почвах потому, что, использовав небольшие их количества, растения наталкиваются на новый первый минимум — воздушный режим почвы, без устранения которого утилизация питательных веществ почвы для растений невозможна.

Отсюда мы должны сделать вывод, что если последнее заключение правильно, то повышение культурой клевера использования минеральных удобрений должно быть следствием благоприятного влияния клевера на структуру носовских почв, так как именно структурные особенности этих почв, как мы видели, и создают в них неподходящий для растений воздушный режим. И действительно, вся совокупность исследований Агрохимического отдела носовских почв подтверждает, *что клевер обладает способностью улучшать структурность носовских почв.*

Уже непосредственное рассмотрение почвенного разреза подтверждает это. Мы указывали, что в разрезе влажные носовские почвы не показывают структуры, стенка разреза представляется слитой, смазанной; это справедливо только в отношении почв, не занятых клевером; стенка же почвенного разреза на клеверном поле не слитая, а рыхлая, распадающаяся на отдельные комочки. Это же подтверждают вышеприведенные данные некапиллярной порозности и водопроницаемости клеверных почв; появление в этих почвах некапиллярных пространств, и отсутствие их в почвах неклеверных, и значительное усиление водопроницаемости почвы культурой клевера — может быть объяснено только созданием клевером структурности у ранее бывшей бесструктурной почвы.

Влияние культуры клевера на водный режим носовских почв

Следующим доказательством влияния клевера на структурность носовских почв служит изменение клевером водного режима у этих почв. Систематическое изучение по горизонтам из года в год влажности на

различных полях Носовской станции выяснило следующее. Клеверный пар во время роста клевера по сравнению с майским паром оказывается иссушенным на бо́льшую глубину, что вполне понятно, так как клевер берет из почвы бо́льшие количества воды; но со времени уборки клевера влажность почвы начинает быстро повышаться и уже ко времени посева озими она сравнивается с влажностью майского пара; а затем получается картина, обратная первоначальной: влажность почвы под озимыми по клеверному пару становится выше, чем под озимыми по майскому пару, и это соотношение сказывается в севооборотах с клевером двухгодичного пользования даже под вторым после клевера растением — под овсом.

Если мы примем во внимание, что в клеверных севооборотах урожаи ржи и овса на носовских почвах заметно выше, чем в севооборотах с майским паром, а значит, и количество воды, используемое из почвы растениями клеверного севооборота, выше, чем майского севооборота, то совершенно будет ясно, что культура клевера влияет как-то на способность почвы накоплять влагу. Для выяснения этого явления проанализируем детальнее, отчего может зависеть способность почвы накоплять воду.

Единственным источником накопляющейся в почве влаги являются атмосферные осадки и талые воды; очевидно, что ни на количество того, ни на количество другого культура клевера влиять не может. Часть выпадающих осадков и часть талых вод испаряется с поверхности почвы, не попадая в почву, и часть эта очень значительная; остальная часть просачивается в почву, и она-то является той водой, которая образует запас воды в почве; эта вода расходуется растениями и испаряется почвою вследствие капиллярного поднятия ее к поверхности почвы. Для сельского хозяина та часть атмосферных осадков, которая испаряется, не попав еще в почву, и та часть почвенной влаги, которая испаряется самой почвой, представляет бесполезную воду. Та же вода, которая имеется в почве и которая испаряется растением, представляет для него полезную воду.

При данных метеорологических условиях в различных почвах количество полезной воды будет различно; каждая почва, в зависимости от ее основных свойств, при одних и тех же метеорологических условиях и при одной и той же механической обработке будет иметь определенное, ей присущее количество полезной воды. Очевидно, что запасы полезной воды в почве, ее способность утилизировать атмосферные осадки, способность накоплять воду, будет тем больше, чем, во-первых, быстрее почва впитывает в себя выпадающие атмосферные осадки и талые воды, уменьшая этим потерю этих вод испарением; т. е. тем больше, чем водопроницаемее почва и чем, во-вторых, меньше почва теряет испарением уже впитавшейся в нее воды, т. е. чем меньше испаряющая способность почвы. Обе эти способности почвы зависят от механического состава почвы и ее структурности. Такие почвы, как носовские, с обилием фракции пыли, с очень малым содержанием фракции песка и ничтожным количеством коллоидальных частиц, часть которых притом во влажном периоде, во время ненасыщенности почвы основаниями, находится в свобод-

ном состоянии, не обладая структурностью, очень трудно проницаемы для воды; выпавшие осадки и талые воды, очень медленно просачиваясь в почву через имеющиеся там только очень узкие капиллярные ходы, успевают в большей своей части испариться.

Если бы по той или другой причине эти почвы стали структурными, т. е. если бы отдельные почвенные частички образовали в них комки той или другой величины, то между структурными отдельностями появились бы более широкие, некапиллярные ходы, и водопроницаемость почвы тотчас бы увеличилась, а вместе с этим уменьшилась бы та часть атмосферных осадков и талых вод, которая пропадает для земледельца, испаряясь, не попадая еще в почву; значит, увеличилась бы способность почвы утилизировать атмосферные воды, увеличились бы запасы воды в почве. Такой случай как раз мы имеем на полях Носовской станции с клеверными севооборотами. *Культура клевера вызывает на носовских почвах структурность почвы и тем повышает ее способность утилизировать дождевую и талую воду.*

И вторая величина, от которой зависят количества воды в почве,— испаряющая способность почвы, находится в тесной связи с структурностью почвы. В почвах бесструктурных, с капиллярными только ходами, каковыми являются носовские почвы, почвенная влага подымается по этим капиллярам к поверхности и испаряется в атмосферу. Если же почва состоит из структурных элементов, комочков той или другой величины, то между комочками мы будем иметь некапиллярные пространства, по которым если вода и будет подыматься, то сравнительно на значительно меньшую высоту, нежели по капиллярам; поэтому потеря воды испарением этими ходами может совершаться из поверхностного слоя почвы меньшей толщины, нежели при капиллярных промежутках; капиллярное же сообщение между отдельными комочками будет в этом случае прервано; оно может иметь место в небольших областях непосредственного соприкосновения комочков между собой. Таким образом, культура клевера на Носовских почвах, создавая в них структурность, тем самым уменьшает потерю воды через испарение почвою, т. е. и в этом отношении делает носовские почвы более способными утилизировать, накоплять в себе атмосферные воды.

Интересно отметить, что другое бобовое растение — вика, не оказывает того влияния на носовские почвы, какое констатируется при культуре клевера; в севооборотах с парами, занятыми вико-овсяной смесью, все исследованные свойства почвы остаются примерно такими же, как и в севооборотах с майским паром; особого влияния вики на структурность почвы не заметно, а вместе с тем не обнаруживается и влияние этого растения на накопление в почве влаги и на использование дальнейшими культурами минеральных удобрений.

Из всех исследованных до сих пор растений подобное действие обнаружено только при культуре клевера. Отсюда было бы, конечно, совершенно неправильно делать вывод, что рожь, овес, ячмень, вика и т. д. не влияют на почву, и между прочим, на ее структуру, а значит, и на ее

водный и воздушный режимы; наоборот, можно с достоверностью утверждать, что каждое растение оказывает такое влияние, но, во-первых, направление и интенсивность этого влияния у различных растений не могут быть одинаковы; во-вторых, степень его выраженности находится в тесной зависимости от основных свойств самой почвы и от метеорологических условий места; все эти обстоятельства на почвах носовских сложились так, что здесь заметно влияет именно клевер.

Мы указывали выше, что воздушный режим носовских почв неудовлетворителен не только вследствие отсутствия в этих почвах макроструктурности, но и потому, что в наиболее критические моменты жизни почвы в отношении ее проветриваемости (влажные периоды года) часть ее небольшого поглощающего комплекса бывает ненасыщенной основаниями, а потому микроструктурные элементы этого комплекса легко разбиваются водою и во влажной почве находятся поэтому в распыленном состоянии. Исследования Агрохимического отдела показывают, что клевер и в этом направлении влияет благоприятно на носовские почвы: количество коллоидальных свободных частиц почвы после культуры клевера заметно понижается.

Причины влияния клевера на структурность носовских почв

Почему же и каким образом культура клевера создает в носовских почвах макроструктуру и способствует прочности ее микроструктуры? На эти вопросы мы можем пока ответить лишь одними предположениями и догадками. Конечно, дело в особенностях корневой системы клевера. Это растение обладает очень сильно развитой и разветвленной, глубоко идущей корневой системой. Возможно, что действие этой системы, создающее структурность, чисто механическое: корни клевера, сильно разрастаясь в почве и занимая поэтому значительный объем, раздвигают почвенные частички в местах своего прохождения и, производя давление, уплотняют почву; там, где корневая система представляет целую сеть корневых сплетений, там между этими сплетениями получаются очень плотные комочки, а в местах прохождения корней и корешков после их сгнивания получаются просторные ходы, создающие некапиллярную порозность.

Возможно, далее, что корни клевера дают особенно обильные корневые выделения, обладающие, может быть, свертывающей способностью. Может быть, разлагающиеся корневые остатки дают органические соединения, обладающие клеющей способностью. Возможно, наконец, что клевер влияет сильным иссушением почвы во время своего роста; клевер выкачивает из почвы воду, иссушая при этом и некоторую часть карбонатных слоев; вследствие этого идет усиленный ток воды по капиллярам из карбонатных горизонтов в верхние почвенные бескарбонатные горизонты; эта вода насыщена двууглекислым кальцием благодаря обилию углекислоты, выделяемой мощной корневой системой клевера: двууглекислый же кальций является сильным свертывателем и почвенных

коллоидов, и более крупных почвенных суспензий; кроме того, поднявшийся в обильном количестве в верхние горизонты двууглекислый кальций и выпарившийся здесь при испарении почвенной влаги уничтожает ненасыщенность почвы во время роста клевера и препятствует ее образованию в течение некоторого времени и под следующими за клевером культурами; этим действием клевера надо объяснить то влияние, о котором говорилось выше: почва из-под клевера при воздействии на нее воды дает меньше свободных коллоидальных частичек, нежели почва, на которой клевер не возделывался; агрегаты коллоидальных частичек в почве после клевера приобретают бóльшую прочность вследствие насыщения почвенного поглощающего комплекса кальцием и свертывающего действия двууглекислого кальция.

Глава 5. ЗАВИСИМОСТЬ АГРОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ОТ КЛИМАТА И ПОГОДЫ

Подводя общий итог результатам изучения агрономических свойств носовских черноземов, можно сказать, что существенной в сельскохозяйственном отношении чертой этих почв является их слабая деятельность. Богатство их главными питательными веществами (азотом и фосфором) невелико, но низкое плодородие их не соответствует и этому богатству; вследствие малой деятельности почвы запасы питательных элементов остаются в малодоступном для растений состоянии; урожайность этих почв поэтому низка не соответственно их богатству. Низка и их производительность, под которой я понимаю ту максимальную величину урожаев, какую можно получить на почве при внесении в нее удобрений; особенно низка эта производительность при применении минеральных удобрений; несмотря на сильную потребность в удобрениях (на что указывает низкая урожайность почвы, т. е. величина урожаев на неудобренных почвах), почвы эти очень слабо реагируют на них; недостаточно сильно реагируют они и на навоз.

Причина обоих этих свойств, т. е. и малой урожайности, и малой производительности, в носовских почвах оказывается одна и та же, а именно плохое их проветривание. Воздушный режим в общем за весь период вегетации находится в этих почвах близко к первому минимуму, а в мокрые периоды года, несомненно, даже в первом минимуме, а потому при обычных для района метеорологических условиях почвы слабо реагируют на минеральные удобрения и, по-видимому, не будут отзываться и на искусственное орошение *. Плохое же проветривание

* На основании всей совокупности наших сведений о свойствах носовских почв можно думать, что искусственное орошение в некоторые периоды вегетации, ухудшая еще дальше воздушный режим почвы, будет только понижать урожаи; но весьма вероятно, что в течение вегетации и на полях Носовской станции имеются такие периоды, когда применение искусственного орошения даст положительный эффект. Выявление таких периодов, когда искусственное повышение влажности

этих почв, как мы видели, тесно связано с их механическим составом, определяющим в почве общую сумму пор (т. е. порозность почвы) и их характер (т. е. соотношение между капиллярной и некапиллярной порозностью).

Но агрономические свойства почвы зависят не только от свойств самой почвы, от тех свойств ее, которые мы назвали основными свойствами почвы (элементарный валовой состав почвы, состав и свойства соединений, составляющих почву, механический состав почвы); всякое агрономическое свойство почвы есть производное из этих основных свойств почвы и метеорологических и топографических условий места залегания почвы; поэтому одна и та же почва при различных метеорологических условиях будет обладать различными агрономическими свойствами. Так, например, плодородие почвы зависит от метеорологических условий года.

Особенно тесно связан с метеорологическими условиями воздушный режим почвы, так как количество воздуха в порах почвы равно ее порозности минус количество воды в почве, а количество воды в данной почве определяется метеорологическими условиями; но не только количество воздуха в почве находится в связи с ее влажностью, от нее же зависит и способность почвы обменивать свой воздух с воздухом атмосферы, т. е. зависит и состав почвенного воздуха; а эти две величины, количество и состав воздуха в почве, и составят то, что носит название воздушного режима почвы. Поэтому почвы одного и того же механического состава, но лежащие в местностях с различным климатом, будут обладать неодинаковым воздушным режимом (так же как и неодинаковым водным режимом); в одной местности этот режим будет благоприятным для растительности, в другой же — растительность может сильно страдать от недостатка кислорода в почве. Почвы, по механическому составу сходные с носовскими почвами, обладая неблагоприятным воздушным режимом в местностях с обычными для района Носовской станции метеорологическими условиями, в климате более засушливом, с иным распределением атмосферных осадков в течение года, не будут страдать от воздушного режима, а будут нуждаться, наоборот, в воде.

Далее, ввиду самой тесной связи между воздушным режимом почвы и состоянием ее влажности в течение вегетационного периода и ввиду непостоянства из года в год условий погоды, степень неблагоприятности воздушного режима почв данной местности, например, района Носовской станции, не может быть чем-то постоянным; она, несомненно, будет изменяться из года в год; воздушный режим будет то более благоприятным, то менее благоприятным; в общем, для среднего количества атмосферных осадков, среднего распределения их и средней температуры этот режим в носовских почвах, как мы указывали, неблагоприятен, но могут быть и такие исключительные по метеорологическим условиям

почвы будет полезно, может быть сделано, конечно, лишь соответствующими опытами.

годы, когда и в этих почвах воздушный режим окажется вполне благоприятным, а в минимуме резко выразятся питательные вещества, и почва будет сильно реагировать на удобрения, если, конечно, при этом в первом минимуме не окажется влажность.

Ясно, что в годы с удовлетворительным воздушным режимом того влияния культуры клевера на действие минеральных удобрений, какое имеет место на полях Носовской станции при обычных метеорологических условиях для этой местности, не обнаружится; оно может выразиться или слабее, или вовсе не сказаться; а возможно представить себе и такое сочетание климатических факторов, когда влияние это будет даже отрицательным вследствие иссушающего действия клевера на почву во время его произрастания. Само собою разумеется, что выявить все эти соотношения возможно будет лишь многолетней работой Станции и при непременном условии расширения и углубления исследования химических, физических и биологических свойств почвы и изучения воздушного и водного режима в тесной связи с метеорологическими наблюдениями.

Ленинград, сентябрь 1925 г.

ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС И ПОЧВЕННЫЕ ПОГЛОЩЕННЫЕ КАТИОНЫ КАК ОСНОВА ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ПОЧВЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ [1]

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Первое издание этой брошюры разошлось целиком. Оно печаталось в то время, когда издание научных работ у нас было крайне затруднено; задуманное мною опубликование моих мыслей о связи между типом почвообразования и поглощающим комплексом почвы и его поглощенными катионами долго не могло быть осуществлено, и если первое издание все-таки появилось в 1925 г., то только благодаря Совету Носовской опытной станции, который, заинтересовавшись этим вопросом, после моего доклада зимой 1923 г. общему собранию научных работников станции, постановил издать эту работу за счет станции. Но ввиду условий того времени необходимо было напечатать эту работу в возможно сокращенном объеме, с возможно малым количеством цифрового материала.

В настоящее время, благодаря опять-таки Носовской опытной станции, я имею возможность значительно расширить рамки этой работы, во-первых, включив в нее новую главу о почвенном поглощающем комплексе вообще, с обильным цифровым материалом, в которой я излагаю свои мысли и данные по этому вопросу и привожу главнейшую литературу его, возникшую или дошедшую до нас уже после того, как первое издание «Почвенного поглощающего комплекса...» было мною написано.

Вторая глава настоящей брошюры «Почвенные поглощенные катионы и типы почвообразования» заключает тот материал, который составлял содержание 1-го издания; сюда внесены лишь небольшие изменения, дополнения и поправки, а также аналитический материал, касающийся поглощенных катионов некоторых русских и американских почв; приводимые американские данные представляют для нас тот интерес, что полностью подтверждают нашу теорию генезиса солонцов и связь степени солонцеватости с количеством поглощенного натрия в почве.

Пользуюсь случаем, чтобы принести свою искреннюю и глубокую благодарность Носовской опытной станции в лице ее директора С. П. Кул-

---

[1] Воспроизводится по работе: «Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации». 2-ое доп. и испр. изд. Носовская с.-х. опытная станция им. пятилетия Октябрьской революции. Отдел агрохимический. Выпуск 47. Изд. Носовской с.-х. опытной станции, 1927.

жинского и Совета станции за ту отзывчивость, которую я всегда встречал со стороны станции в отношении моих научных исследований последнего времени.

Автор

Декабрь, 1926 г.

ВВЕДЕНИЕ

Целый ряд попыток изменений почвенной классификации Докучаева—Сибирцева ясно показывает, что классификация эта не вполне удовлетворяет современных почвоведов, что в ней имеется что-то, не отвечающее современному состоянию науки. Ближе всех к этому вопросу подошел покойный Петр Самсонович Коссович; он указал на причину этой неудовлетворительности и сделал попытку устранить эту причину. Он совершенно правильно отметил, что классификационными признаками в почвенной классификации должны являться, как это имеет место в классификациях других естественных наук, внутренние свойства и особенности почвы, а не те внешние факторы почвообразования, которым признаки эти обязаны. Попытка его устранить этот пробел оказалась, однако, не вполне удачной. Теперь совершенно определенно можно сказать, что эта попытка была преждевременной.

Когда Петр Самсонович вынашивал, если так можно выразиться, свои классификационные идеи, в то время наиболее злободневным был вопрос о почвенном растворе; громадная роль его в жизни почвы и в почвообразовательных процессах несомненна, но прежде всего он и до сих пор даже приблизительно не изучен, и быть может, и до настоящего времени нет еще в почвоведении для этого достаточных предпосылок, не все еще сделано в изучении других явлений, чтобы можно было сказать, что вот теперь можно приступать к планомерному познаванию почвенного раствора; мне, принимавшему в то время близкое участие в разработке вопроса о почвенном растворе, стало скоро уже в самом ходе работ ясно, что без предварительного и всестороннего изучения явлений поглощения нечего думать разгадать загадку почвенного раствора; не утверждаю, конечно, обратного: может быть, и этого последнего будет еще недостаточно; дальнейшее действительно оправдало мои предположения: с тех пор прошло около 10 лет; в изучении почвенного раствора приняли участие англичане и большое число научных сил Америки, но вопрос почти не подвинулся.

Совершенно ясно, что построить почвенную классификацию на свойствах неизученного явления нельзя. Вследствие этой неизученности почвенного раствора Петром Самсоновичем была допущена ошибка в установлении двух основных типов почвообразования — щелочного и кислотного выветривания, тогда как почвенный раствор, как правило, вследствие содержания углекислоты и обычного содержания карбонатов в виде двууглекислых, кисел; и только в сильно солонцеватых почвах, да и то лишь в известные периоды года, он действительно щелочен.

Может быть, когда почвенный раствор будет подробно изучен, тогда можно будет его свойства принять за основной принцип классификации; хотя я в этом сильно сомневаюсь; несомненно, что почвенный раствор — одна из существеннейших частей почвенной системы, что он оказывает большое влияние на твердую фазу почвы, но, вместе с тем, будучи одной из наиболее подвижных частей почвы и характеризуя потому состояние этой системы в каждый данный момент, он очень мало может дать нам указаний относительно прошлого этой системы, а поэтому он не может быть подходящим основанием для установления именно генетической классификации. Далее, в основу классификации нельзя класть вторичные, производные свойства почвы; таковые признаки могут послужить для дальнейших, более дробных подразделений. Почвенный же раствор несомненно представляет производное твердой фазы почвы. Поясню свою мысль примером.

Концентрация водородного иона почвенного раствора играет громадную роль в почвенных процессах; величина этой концентрации отражается на всех химических, физических, физико-химических и биологических почвенных процессах. Но, несмотря на такую ее роль, ставить ее в основу классификации совершенно невозможно, так как она есть производная другого почвенного признака — состава поглощенных катионов почвы; в зависимости от того, каков этот состав, почвенный раствор будет обладать в известных границах той или иной величиной pH; величина этой концентрации до известной степени предрешена в почве составом ее поглощенных катионов. Так, раз почва содержит поглощенный водород, раз она не насыщена основаниями, pH почвенного раствора будет непременно меньше 7 и тем меньше, чем больше степень ненасыщенности. Но, будучи уже в известной степени предрешенной, величина эта может колебаться в некоторых пределах в зависимости от других свойств почвы; например, в зависимости от количества мертвого отпада, его состава и скорости разложения; в зависимости от качественного и количественного состава солей в почвенном растворе.

В почвах, содержащих поглощенный натрий, величина pH будет всегда больше 7 и тем больше, чем больше в почве этого натрия, но и здесь, в зависимости от других условий, она, при одном и том же содержании поглощенного натрия, может отклоняться то вверх, то вниз, например, в зависимости от того, содержит ли почва углекислый кальций или нет; насколько почва богата органическими веществами и какова скорость их разложения; вообще можно сказать, что величина pH может колебаться в известных пределах при одном и том же составе поглощенных катионов в почве в зависимости от буферности почвы, если этому понятию придавать самый широкий объем. И вот в этом отношении pH почвенного раствора может сыграть известную роль при дробных классификационных подразделениях.

В основу же классификации в отношении реакции почвы надо поставить состав поглощенных катионов, а не производную от них величину pH.

Таким основанием, представляющим из себя существеннейшую часть почвы, теснейшим образом связанную и с остальной частью твердой фазы почвы и с почвенным раствором, и вместе с тем в большей мере, нежели какая-либо другая часть почвы, дающим указания на прошлое почвы (и до известной степени на ее будущее), является, по моему мнению, то, что я назвал почвенным поглощающим комплексом (или суммой «цеолитной» и «гуматной» частей почвы).

Глава I. ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС

Под именем почвенного поглощающего комплекса (или суммы «цеолитной» и «гуматной» частей почвы) я понимаю ту часть почвы, которую можно охарактеризовать таким образом:

1) с химической стороны поглощающий комплекс состоит из нерастворимых в воде солеобразных алюмосиликатных * (минеральная часть поглощающего комплекса, или «цеолитная» часть почвы) и органических и органо-минеральных (органическая часть поглощающего комплекса, или «гуматная» часть почвы) соединений;

2) с физической стороны это совокупность тех почвенных соединений, которые находятся в почве в мелкораздробленном состоянии; эта высокодисперсная твердая часть почвы, ультрамеханическая часть ее, по всей вероятности, близко совпадает с коллоидальной частью почвы; но возможно, что некоторое участие в характерных реакциях этого комплекса принимают и частицы, соседние по величине, более крупные, нежели коллоидальные, а именно фракция с диаметром частиц между 0,001 и 0,00025 *мм*. В почвах обычно эти коллоидальные частицы поглощающего комплекса (первичные частички комплекса) находятся не в свободном, раздельном состоянии, а в виде агрегатов их большей или меньшей величины (вторичные частички комплекса), а также в виде агрегатов с частичками более крупных механических фракций почвы, являясь в этом случае цементом, склеивающим эти более крупные частицы; кроме того, эти первичные, а также более мелкие вторичные частички поглощающего комплекса могут с большей или меньшей прочностью прилипать к поверхности почвенных частиц крупных фракций.

В совокупности вышеуказанные два свойства поглощающего почвенного комплекса сообщают ему те особенности, которыми он отличается от всей остальной части почвы и благодаря которым ему приходится отводить особое место. Благодаря второму из указанных свойств, а именно высокой степени дисперсности своих частичек, поглощающий комплекс обладает высокой реакционной способностью; несмотря на то, что это твердое, в воде почти вовсе нерастворимое тело, поглощающий комплекс очень энергично реагирует в водной среде и с твердыми коллоидально растворенными частицами и особенно с электролитами, растворы которых приходят в соприкосновение с ним.

* Сюда будут входить соли кремниевых, соли комплексных алюмо-ферри- и алюмо-ферри-кремниевых кислот, а также соответствующие свободные кислоты.

В отношении этой реакционной способности поглощающий почвенный комплекс приближается уже к веществам, дающим в водной среде молекулярные и ионные растворы, т. е. к водорастворимым соединениям почвы, и стоит тем ближе к ним, чем выше степень его дисперсности.

Другое из основных свойств почвенного поглощающего комплекса — солеобразный характер составляющих его соединений — предрешает общий характер преобладающей реакции его с электролитами, находящимися в почвенном растворе; это будет реакция взаимного обмена катионами между этими электролитами и молекулами, расположенными на поверхности твердых частиц поглощающего комплекса, т. е. обменная реакция, обусловливаемая физико-химической поглотительной способностью почвы. Конечно, между частицами поглощающего комплекса и веществами, находящимися в почвенном растворе, возможны и другие реакции; на одну из них мы уже указывали. Это взаимная коагуляция коллоидальных частиц поглощающего комплекса с циркулирующими, например, в почве высокодисперсными коллоидальными растворами органических веществ, кремнекислоты, гидроокисей железа и алюминия.

Далее, присутствие в почве коллоидально раздробленных частиц может обусловливать положительную или отрицательную адсорбцию растворенных в почвенном растворе соединений, вызывая между прочим усиленный гидролиз электролитов раствора, состоящих из неодинаково сильных ионов. Возможны и наверное протекают и другие реакции как упрощения, так и усложнения; и в некоторых случаях эти реакции могут иметь существенное значение в жизни почвы; но, отвлекаясь от частностей и исключений, нужно, по-видимому, признать, что обменная реакция вообще занимает первое место; она в количественном и качественном отношении будет для поглощающего комплекса почвы и почвенного раствора реакцией первого порядка; прочие же реакции будут занимать, вообще говоря, места второго, третьего и т. д. порядка. Но наряду с высокой реакционной способностью почвенного поглощающего комплекса, приближающей в этом отношении его и особенно ту его часть, которая обладает наибольшей степенью дисперсности, к водорастворимым соединениям, этот комплекс нерастворим в воде, и благодаря этому, а также нерастворимости продуктов распада его анионной части («коллоидальной» их растворимости), как сам этот комплекс, так и эти продукты распада способны в той или иной степени сохраняться в почве в месте их образования или скопляться на той или иной глубине: даже и в том случае, когда продукты эти вымываются вон из почвенной толщи, например, в грунтовые воды; даже и тогда очень часто мы имеем след этого в том поглощающем комплексе, из которого они вынесены; очень часто в тех случаях, когда мы не можем обнаружить этого следа, происходит это лишь вследствие мало разработанной еще методики исследования поглощающего комплекса.

Целый ряд вопросов связан с поглощающим комплексом почвы. Мы на них сейчас и остановимся.

1. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОЧВЕННОГО КОЛЛОИДАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрим прежде всего состояние вопроса о происхождении коллоидальной части почвы. Отметим прежде всего, что и материнские породы, если они содержат коллоидально раздробленную часть, содержат и поглощающий комплекс; поэтому вопрос о происхождении алюмосиликатной части поглощающего комплекса до известной степени общ и в отношении почвы, и в отношении материнской породы. В почвах, кроме того, возникает вопрос о происхождении органической части поглощающего комплекса, которая, по-видимому, играет весьма существенную роль в общем поглощающем комплексе почвы, и о влиянии органической части почвы на образование минерального поглощающего комплекса почвы. В самой общей форме ответ на поставленный вопрос может быть сформулирован так: почвенный поглощающий комплекс есть результат механического, химического и биологического выветривания материнской породы и почвы.

Органическая часть поглощающего комплекса почвы, как и вся органическая часть почвы, есть образование чисто почвенное: обменной способностью обладают и некоторые первоначальные органические соединения мертвого отпада растительности, и некоторые продукты распада вещества растительных остатков; эта часть поглощающего комплекса обладает в почве наибольшей подвижностью, в почве она сравнительно быстро изменяется в качественном отношении, разрушается и вновь созидается; в составе ее в каждой почве можно найти соединения различной степени устойчивости; различные почвы в зависимости от условий их образования и современных условий их жизни должны различаться между собой не только величиной их органического поглощающего комплекса и составом соединений, входящих в него, но и соотношением между количествами соединений разной степени устойчивости; последнее же находится в теснейшей зависимости в первую очередь от количества в почве не гумифицированных и не вполне гумифицированных органических остатков. Степень устойчивости соединений органического поглощающего комплекса почвы представляет весьма существенный классификационный признак.

Малая изученность почвенных органических веществ не позволяет пока ближе подойти к вопросам, связанным с происхождением гуматной части поглощающего комплекса.

Что касается происхождения алюмосиликатной части поглощающего комплекса, то здесь сразу же возникает вопрос о том, какой стадии разрушения должны достичь алюмосиликатные соединения материнской породы, чтобы в результате его получились соединения, обладающие резко выраженной поглотительной способностью и находящиеся в коллоидальном раздроблении. По этому вопросу существуют две главные точки зрения.

Одна точка зрения, представителем которой можно считать H. Stremme *, который, кажется, первый развил ее, заключается в том, что, во-первых, минеральный почвенный поглощающий комплекс возникает в результате полного распада алюмосиликатов почвы на составляющие его окислы и что, во-вторых, образующиеся при этом распаде коллоидально растворенные гидраты окисей кремния, железа и алюминия не образуют между собою и с основаниями каких-либо определенных химических соединений; таким образом, по этому воззрению весь алюмосиликатный поглощающий комплекс есть новообразование, прошедшее через стадию коллоидальных растворов SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 и представляющее собой механическую смесь SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 с адсорбированными ею основаниями.

Эту теорию, как нам уже приходилось высказываться, мы считаем, с одной стороны, противоречащей фактам. Мы указывали именно, что если бы в почвах мы имели дело с механической смесью означенных гидроокисей, то должно было бы быть совершенно иное отношение почвы к щелочам; едкие щелочи и щелочные карбонаты в этом случае должны были бы извлекать из первоначальной почвы очень много и алюминия и кремнекислоты, чего, однако, на самом деле, как общего правила, нет; бывают такие почвы (а именно солоди, см. мою статью «Осолодение почв»)[1], но далеко не все: из первоначальных почв, насыщенных основаниями, щелочи вообще извлекают очень мало и кремнекислоты, и алюминия, независимо от величины их поглощающего комплекса; из почв же, ненасыщенных основаниями, и того и другого, а особенно алюминия извлекается заметно больше.

К подобному же заключению приводит недавно опубликованное исследование R. Bradfield'а ** над действием соляной кислоты и едкого натра в различных концентрациях на коллоидальную глину, выделенную из подпочвы, и на синтетически приготовленную смесь тщательно очищенных коллоидальных растворов гидроокисей алюминия и железа и коллоидальной кремнекислоты; количественный состав в обоих случаях был один и тот же. Вот данные этого исследования (см. табл. на стр. 267).

Приведенные данные показывают резкое различие в действии исследовавшихся растворителей на естественную коллоидальную часть почвы и на коллоидальную смесь того же состава.

Такие возражения можно сделать против допущения, что вновь возникающий алюмосиликатный поглощающий комплекс есть простая механическая смесь гелей кремнекислоты, окиси железа и алюминия.

С другой стороны, нельзя согласиться и с тем, что поглощающий комплекс образуется лишь из продуктов полного распада алюмосиликатного ядра; у нас нет никаких оснований отрицать вероятности образо-

* См. мою статью «Материалы к познанию поглотительной способности почв».— Журн. оп. агр., 19, 1918, стр. 269.

** *R. Bradfield.* The Chemical Nature of Colloidal Clay.— Journ. of Amer. Soc. Agr., v. 17, 1925, N 5, p. 256.

[1] См. стр. 130 наст. тома.

Действие соляной кислоты и едкого натра на коллоидальную глину (I) и на синтетическую коллоидальную смесь (II)

Растворитель	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
Валовой состав			
I	59,1	31,9	9,1
II	59,1	31,9	9,1
Конц. HCl			
I	0,2	31,6	9,1
II	Все в истинном или коллоидальном растворе		
5% HCl			
I	7,3	15,7	3,8
II	Нет осадка		
0,13 н. HCl			
I	7,7	5,8	1,6
II	Fe_2O_3 и Al_2O_3, по-видимому, в истинном растворе. SiO_2, вероятно, в значительной части в коллоидальном растворении		
0,13 н. NaOH			
I	9,0	5,7	—
II	Более устойчивый красный золь		
1% н. NaOH			
I	13,3	7,6	—
II	33,6	21,3	—

вануя частиц коллоидальных размеров при выветривании алюмосиликатов, именно из остатков выветривания: тот или другой минерал, подвергаясь с поверхности совокупному действию различных видов выветривания, может давать, с одной стороны, отщепляющиеся от его поверхности простые гидраты окисей кремния, алюминия и железа, а с другой стороны, также отщепляющиеся мелкие частички более сложных соединений; нет никаких оснований предполагать, что распад идет обязательно до конца или что одни продукты распада (наиболее простые) отделяются, а другие, более сложные, отделиться от первоначального зерна не могут.

Нужно заметить, что теория Stremme возникла еще в то время, когда современный принцип коллоидальной химии «коллоидальность есть известная степень дисперсности вещества», только завоевывал свое положение в науке; а до его утверждения, действительно, могло казаться странным и даже невозможным образование коллоидального минерала вследствие простого отщепления или распада остатка выветривания на мелкие частички.

Другая точка зрения, на которой стоит и автор настоящей работы и которую он проводил во всех более ранних работах, касающихся рассматриваемого вопроса, это та, что возникновение коллоидальной минеральной части в горных породах и в почве происходит под влиянием

совокупного действия атмосферных и биологических агентов на составляющие породу и почву минералы, что это действие в конце концов может быть сведено к действию циркулирующих вод того или другого состава и что в результате этого действия могут, с одной стороны, возникать простые минеральные соединения в коллоидальном раздроблении, а с другой стороны, наряду с ними и коллоидально раздробленные остатки выветривания, причем последние должны обладать, по-видимому, меньшей степенью дисперсности, чем конечные продукты распада, т. е. SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3, благодаря чему они и остаются на месте или поблизости от места их возникновения, а не передвигаются с такой же легкостью, как коллоидальные гидраты окисей кремния, железа и алюминия.

Вместе с возникновением в горной породе и почве минерального поглощающего комплекса, как результата упрощения и раздробления составляющих их минералов, может идти и синтез его из отдельных коллоидальных гидратов окисей кремния, алюминия и железа вследствие их взаимной коагуляции, причем возникающие новообразования нельзя рассматривать как простую смесь гелей, так как и тут, как и при других коллоидальных реакциях, мы имеем по существу химическую реакцию, но так как она совершается лишь между молекулами, расположенными на поверхности коллоидальных частиц и притом лишь в местах соприкосновения частиц, то здесь не будет стехиометрических соотношений в общей массе частиц и сама связь будет более рыхлой, менее прочной, чем в случае реакций между молекулами и ионами.

Мы думаем, таким образом, что в горной породе и в почве возникновение коллоидально раздробленных соединений может идти двумя известными в коллоидальной химии путями: дисперсионным и конденсационным. При каолинизации, например, полевого шпата, от молекул его, расположенных на поверхности кристалла, после замены металла на водород идет отщепление SiO_2; эта кремнекислота получается, конечно, при этом в истинном растворе, но так как растворимость ее совершенно ничтожна, то происходит конденсация молекул ее с образованием коллоидально раздробленного вещества. Имеем таким образом самый простой случай конденсационного способа возникновения коллоидально раздробленного вещества в почве.

С другой стороны, существовавшая связь между молекулами полевого шпата на поверхности его минерала вследствие отщепления от них того или другого количества кремнекислоты нарушается, ослабевает, и агрегаты таких молекул той или другой сложности будут действием воды отделяться с поверхности кристалла; будем получать каолин в той или другой степени раздробленности; в этом случае будем иметь дисперсионный способ получения в почве коллоидально распыленного вещества.

Когда в природе идет распад сложных силикатов с отщеплением от их молекул не только кремнекислоты, но и полуторных окислов (гидрата окиси алюминия, или гидрата окиси железа, или того и другого вместе), то здесь возможно и такое явление, когда эти простые соединения находятся еще в состоянии истинного раствора, они могут вступать

между собою в химические соединения, образуя ферри-алюмосиликаты, которые затем, опять-таки вследствие их ничтожной растворимости, будут выпадать в коллоидальном раздроблении. Получающиеся таким путем коллоидально раздробленные алюмосиликаты будут отличаться от таковых, возникших путем взаимной коагуляции SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 из коллоидальных уже растворов этих соединений; соединение этих окислов в рассматриваемом случае будет происходить в стехиометрических отношениях, и связь между этими окислами будет значительно прочнее.

2. СОСТАВ ПОЧВЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Следующим в отношении почвенного поглощающего комплекса можно поставить вопрос о составе его органической и минеральной части.

а. ОРГАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Сказать что-либо о составе органической части в настоящее время нет возможности. Несомненно одно, что она, подобно общему гумусу почвы, содержит много разнообразных соединений. Каковы эти соединения, мы не знаем, и в нашем распоряжении еще не имеется и подходящих методов для разрешения этого вопроса. Мы не знаем еще и элементарного состава всей этой части целиком и потому не можем судить, насколько этот состав одинаков или неодинаков у различных почв, хотя к разрешению этого вопроса уже можно подойти, так как выделить из почвы всю гуматную часть мы имеем возможность, например, предложенным нами методом (насыщение почвы натрием и дальнейшее промывание ее водой до бесцветного фильтрата); правда, метод этот очень кропотлив, требует много времени и для массовых исследований поэтому неприменим.

б. МИНЕРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Несколько иначе обстоит теперь дело с алюмосиликатной частью почвенного поглощающего комплекса. В первом издании настоящей статьи я не мог еще привести каких-либо данных в этом отношении, их еще не было; теперь же мы имеем несколько исследований, выясняющих состав этого комплекса. Раньше чем перейти к их рассмотрению, остановлюсь на этом вопросе вообще.

Здесь нас может интересовать, так же как и в отношении гуматной части почвы, с одной стороны, из каких соединений состоит алюмосиликатный поглощающий комплекс, а с другой стороны, каков элементарный состав в данной почве ее минерального поглощающего комплекса, рассматриваемого как одно целое. В отношении состава соединений, составляющих алюмосиликатный поглощающий комплекс, положение такое же, как и в отношении его органической части: методов непосред-

ственного его изучения у нас нет. Как в том, так и другом случае можно пока лишь рекомендовать фракционное изучение, которое даст возможность при накоплении достаточного материала хотя бы подойти к вопросу о соединениях, составляющих поглощающий почвенный комплекс; так как, с одной стороны, несомненно, что валовой состав различных механических фракций этого комплекса (ультрамеханических фракций почвы) различен, и изучение его представляет еще больший интерес, нежели изучение валового состава более крупных фракций; с другой стороны, чем уже будут пределы размеров диаметра частиц каждой ультрафракции, тем однообразнее должен быть состав соединений, составляющих эту фракцию.

Значительно проще вопрос с определением элементарного состава всего поглощающего комплекса почвы: здесь надо только выделить этот комплекс; и мы в настоящее время имеем уже ряд анализов, дающих представление об элементарном составе поглощающего почвенного комплекса, на которых мы ниже остановимся. Теперь же укажем на те условия, какие, по нашему мнению, должны быть соблюдены при этом исследовании.

Раз вопрос идет об элементарном составе почвенного поглощающего комплекса, то, очевидно, прежде всего из почвы должен быть выделен действительно весь этот комплекс целиком и подвергнут исследованию, так как нет никаких оснований предполагать, что оставшаяся в почве его часть будет того же состава, что выделенная. Поэтому здесь прежде всего надо условно остановиться на некоторой величине частицы, на основании которой производить уже отделение этого комплекса от остальной части почвы. Само собой разумеется, что вполне определенной границы здесь нет и не может быть: обменная способность механических фракции, уловимо появляясь примерно начиная с частиц диаметром около 0,01 *мм*, растет далее очень постепенно; роль частиц с диаметром от 0,01 до 0,001 *мм* даже только в явлениях обмена, несомненно, ничтожна; поэтому размеры 0,01 *мм*, конечно, нельзя принимать за границу между поглощающим комплексом и остальной частью почвы. Вопрос может быть лишь о том, не принять ли диаметр 0,001 *мм* за эту границу, т. е. не отождествлять ли поглощающий почвенный комплекс с илистой фракцией почвы. Однако, несмотря на все преимущества этого в техническом отношении (сравнительная быстрота выделения), я думаю, что эту границу можно принять лишь как первое приближение в вопросах изучения состава и свойств поглощающего комплекса.

Нам, почвоведам, нет никаких оснований изменять принятый в коллоидальной химии низший предел коллоидального раздробления, а именно 0,25 *мкм* (0,00025 *мм*); с этой границей в коллоидальной химии связан целый ряд изменений в существенных свойствах вещества вообще, а значит, и почвенных соединений в частности; и покуда не будет определенно доказано, что повышение этой границы до 0,001 *мм* не может существенно повлиять на наши представления о сравнительных коллоидальных свойствах почв, до тех пор я не считал бы возможным из-

менять принятую в коллоидальной химии границу между коллоидальной и неколлоидальной частью почвы *.

В подтверждение того, что не безразлично в отношении валового состава поглощающего комплекса, остановимся ли мы на диаметре 0,001 или на 0,00025 *мм*, как границе коллоидальной и неколлоидальной, приведу (хотя это ясно и теоретически) данные из работы W. O. Robinson и R. S. Holmes ** по элементарному составу коллоидальной части (I) почвы (все, что мельче 0,0003 *мм*) и части илистой фракции с частицами между 0,001 и 0,0003 *мм* (II) для подпочвы (8—30 дюймов) суглинистой почвы:

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Потеря от прокаливания
I	40,34	0,59	28,00	14,18	0,63	1,36	12,95
II	45,14	0,68	29,81	9,05	0,37	0,94	9,71

Как видно, для большинства элементов состав этих двух фракций резко различен; особенно приходится здесь подчеркнуть то, что даже из анализа одной лишь почвы видно, что изменение в содержании различных элементов при переходе от одной фракции к другой происходит неравномерно; поэтому теряется и масштаб при сравнении.

В какой мере неполное выделение коллоидальной части почвы может отразиться на элементарном составе этой части, можно судить по следующим данным. Мы прежде всего приведем здесь результаты исследования этого вопроса, полученные Robinson и Holmes, из выше цитированной работы. Для этих исследователей вопрос этот имел большое значение, так как тот метод, который они применяли для выделения этой части почвы (выделение части почвенной суспензии, содержащей коллоидальную и более крупную фракцию, методом однократного отстаивания почвы, взболтанной с чистой водой или с водой, содержащей I часть аммиака на 3000 частей воды; и центрифугирование этой суспензии с помощью суперцентрифуги, с помощью чего отделялись фракции с частицами меньше 0,0003 *мм*).

При этом методе из почвы заведомо выделялась лишь часть имеющихся в ней в свободном состоянии коллоидальных частиц. Этим методом авторы изучили элементарный состав коллоидальной фракции 45 почвенных образцов, и само собой понятно, им важно было знать, насколько их данные могут относиться ко всему почвенному поглощающему комплексу. Поэтому в четырех из исследовавшихся по вышеопи-

* К имеющимся в литературе данным, показывающим значительную обменную способность у неколлоидальных почвенных фракций, надо относиться с большой осторожностью; во всех этих исследованиях неколлоидальные фракции выделялись из почв такими способами, при которых, совершенно несомненно, попадали в эти фракции и коллоидальные частички, как в виде агрегатов их, так и прочно приставшие к поверхности более крупных частиц.

** *W. O. Robinson and R. S. Holmes*. The Chemical Composition of Soil Colloids.— U. S. Dept. of Agric., Bull. N 1311, 1924, p. 19.

санному методу образцах они производили из остатка почвы от первого выделения суспензии дальнейшее выделение отстаиванием с последующим центрифугированием; всего таких последовательных выделений производилось три или четыре (фракция, 1, 2, 3 и 4); после 3-го или 4-го отстаивания, по авторам, выделялась ими вся суспензия, содержащая коллоидальную часть. Валовой анализ каждой коллоидальной фракции и общей суммы дал следующие результаты (табл. I).

Таблица I

Состав последовательно извлекаемых фракций коллоидальной части различных почв по Robinson и Holmes

Почва	Коллоидные фракции	% от всей почвы	В % от соответственной коллоидальной фракции						
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Потеря от прокаливания
1. Суглинок, 0—4 дюйма	1	2,10	39,15	0,51	29,62	14,11	0,51	1,33	12,73
	2	6,06	38,84	0,56	28,98	14,77	0,67	1,39	12,97
	3	2,13	45,81	0,78	23,63	12,57	0,65	1,19	12,65
	Вся коллоидная часть	10,29	40,34	0,59	28,00	14,18	0,63	1,36	12,95
2. Илистый суглинок, 0—4 дюйма	1	0,64	45,92	0,45	22,48	8,95	1,23	1,67	17,45
	2	4,50	45,09	0,44	22,54	9,11	1,15	1,80	17,44
	3	0,97	45,98	—	23,08	8,00	1,26	1,92	17,21
	4	0,90	50,28	—	19,61	7,38	1,21	1,60	—
	Вся коллоидная часть	7,01	45,96	0,44	22,23	8,72	1,18	1,78	17,37
3. Глина, 0—4 дюйма	1	12,10	51,34	0,51	22,61	8,79	1,41	2,88	10,93
	2	11,90	49,67	0,55	22,73	9,32	1,40	2,47	12,46
	3	12,30	50,17	0,68	19,17	8,28	1,12	2,09	13,36
	4	2,20	43,58	1,00	20,37	9,81	1,17	2,00	18,66
	Вся коллоидная часть	38,50	50,00	0,61	21,42	8,85	1,30	2,45	12,62
4. Тяжелый суглинок	1	16,60	36,26	0,65	32,85	12,44	0,44	0,18	16,88
	2	12,20	35,45	0,99	32,86	14,37	0,42	0,24	16,21
	3	1,10	35,93	0,69	29,69	11,68	0,26	0,44	18,52
	Вся коллоидная часть	29,90	35,91	0,79	32,74	13,22	0,42	0,21	16,66

Из этих данных мы видим, что последняя из выделившихся фракций во всех случаях имела заметно иной состав, чем первые фракции, но так как этой фракции во всех четырех почвах было сравнительно очень немного, то средний состав всей выделенной авторами коллоидальной части мало отличался от состава первой фракции. Можно ли этот вывод распространить, во-первых, на все почвы вообще, а затем на весь действительно имеющийся в почве коллоидальный комплекс? Я в

этом очень сомневаюсь и во всяком случае считаю вопрос этот не разрешенным еще экспериментальными данными и вот почему.

Во-первых, укажу на то, что данные Robinson'a и Holmes для вышеозначенных четырех почв относятся заведомо не ко всему коллоидальному комплексу; тот метод, который они применяли, выделяет это комплекс далеко не полностью; прибавкой аммиака тут можно лишь немного помочь делу; это вполне ясно и самим авторам означенного исследования и вообще сотрудникам Bureau of Soils, много поработавшим над вопросом об определении общего количества коллоидальной части почвы. Одним из сотрудников этого Бюро, W. H. Fry *, в 1923 г. был предложен микроскопический метод определения тех коллоидальных частиц почвы, которые остаются в почве (в мелких ее фракциях) после удаления той части коллоидальной фракции, которая может быть выделена вышеописанным методом. Определяя микроскопически количество коллоидальных веществ, оставшихся во фракциях 0,001—0,050 *мм* и крупнее 0,050 *мм*, после выделения коллоидальной части, произведенного сотрудниками того же Бюро **, Fry получил следующие данные *** (табл. II).

Из табл. II мы видим, что около половины (от 34,5 до 60,2%) коллоидальных частиц, присутствовавших в исследовавшихся в Bureau of Soils почвах, не извлекалось обычными методами механического анализа. Это вполне согласуется и с моими исследованиями ****. Каков элементарный состав этого остатка и насколько он будет близок к первой выделенной американцами фракции коллоидов, мы не знаем; возможно, однако, что он будет ближе именно к последним фракциям, отличающимся заметно от первых.

Во-вторых, должен указать, что для очень многих почв, особенно богатых гумусом, трехкратным или четырехкратным отмучиванием выделить всю илистую фракцию далеко не удается, обычно приходится производить гораздо большее число отмучиваний; а тогда и количество фракции, отличающейся своим элементарным составом от первых фракций, должно заметно возрасти. И вообще нужно отметить, что в различных почвах дело тут будет обстоять очень различно, а потому степень отклонения элементарного состава той части коллоидов, которая выделяется из почвы тем или другим методом, от элементарного состава всего коллоидального комплекса для различных почв различна; теряется, таким образом, главный смысл подобных исследований — сравнительное изучение различных почв.

---

* *W. H. Fry.* The Microscopic Estimation of Colloids in Soil Separates.— Journ. of Agric. Research, v. XXIV, 1923, p. 879.

** *M. S. Anderson, W. H. Fry, P. L. Gile, H. E. Middleton and W. O. Robinson.* Adsorption by colloidal and noncolloidal soil constituens. U. S. Dept. of Agricultur.— Bull. N 1122, 1922. В этой работе граница коллоидной и неколлоидной части почвы была принята за 0,001 *мм*.

*** В этой таблице имеются и те почвы, которые приведены нами в табл. I.

**** *К. Гедройц.* Ультрамеханический состав почвы...— Журн. оп. агр., т. 22, 1921—1923, ч. 1, стр. 29. (См. стр. 108 в наст. томе).

Таблица II

Микроскопическое определение неизвлекаемых коллоидов из мелкой и грубой фракций почвы по Fry

Почва	Фракция, *мм*	Фракция, % от всей почвы	Неизвлеченные коллоиды, % от веса фракции, в которой они остались	Неизвлеченные коллоиды в обеих фракциях вместе, % от веса почвы	Неизвлеченные коллоиды, % от общего количества их в почве
1. Тяжелый суглинок,	Извлечено коллоидов	9,4	—	—	—
0—4 дюйма	0,001—0,050	7,6	74	—	—
	>0,050	83,8	4	9,0	48,9
2. Тяжелый суглинок,	Извлечено коллоидов	9,4	—	—	—
0—4 дюйма	0,001—0,050	10,4	55	—	—
	>0,050	78,3	4	8,9	48,6
3. Суглинок,	Извлечено коллоидов	10,3	—	—	—
0—4 дюйма	0,001—0,050	21,9	48	—	—
	>0,050	64,0	8	15,6	60,2
4. То же,	Извлечено коллоидов	13,3	—	—	—
4—12 дюйма	0,001—0,050	19,4	25	—	—
	>0,050	63,3	10	11,2	45,7
5. Илистый суглинок,	Извлечено коллоидов	14,4	—	—	—
0—4 дюйма	0,001—0,050	20,6	38	—	—
	>0,050	61,9	2	9,1	38,7
6. Глина,	Извлечено коллоидов	42,4	—	—	—
0—4 дюйма	0,001—0,050 и 0,050 (вместе)	53,1	42	22,3	34,5
7. Глина,	Извлечено коллоидов	31,5	—	—	—
0—4 дюйма	0,001—0,050	38,9	52	—	—
	>0,050	31,8	25	28,2	47,2
8. Илистый суглинок	Извлечено коллоидов	30,5	—	—	—
	0,001—0,050	38,6	97	—	—
	>0,050	31,8	14	41,9	57,9

В подтверждение необходимости выделения, по крайней мере при современном состоянии нашей методики, всего коллоидального почвенного комплекса, могу еще привести опубликованные в последнее время исследования Д. В. Иванова *, который выделял поглощающий комплекс из почвы моим методом и произвел валовой анализ двух его фракций (фракция 0,00025—0,0001 *мм* и фракция мельче 0,0001 *мм*) и констатировал резкое различие в элементарном их составе (эти данные приводятся мною ниже, в табл. VIII). Конечно, фракции, выделенные американцами и Д. В. Ивановым, различны по существу; у американцев каждая из фракций представляет смесь различных величин частичек, составляющих коллоидальную часть почвы, а у Д. В. Иванова это две фракции, раз-

* *Д. В. Иванов.* Поглощающий комплекс чернозема.— Научно-агрономич. журнал, год III, 1926, № 4, стр. 268.

деленные уже по величине частичек; так что о полной сравнимости здесь и не может быть речи; но во всяком случае, раз фракции с различными размерами частиц имеют неодинаковый элементарный состав, то это уже до известной степени предсказывает и неодинаковый состав фракций, выделенных американским методом, так как нет никаких оснований предполагать, что в разных этих фракциях будет одинаковое соотношение между количествами входящих в каждую из них частиц различного диаметра.

В связи с рассмотренным вопросом о границе величины частиц поглощающего (коллоидального) и непоглощающего (неколлоидального) почвенного комплекса стоит другой вопрос, уже не формального характера, поднятый в американской и английской литературе собственно в отношении главным образом глин, но имеющий значение и для почв. Существует ли различие между «обыкновенной» глиной (т. е. нашей илистой фракцией меньше 0,001 или 0,002 *мм*) и «коллоидальной» глиной, ультраглиной (то, что я называю «ультрамеханической фракцией»), или это одно и то же в том смысле, что вся илистая фракция или вся «обыкновенная» глина представляет из себя в действительности коллоидальную фракцию с размерами частиц ниже 0,25 *мкм* (или, как некоторыми принимается, ниже 0,4 *мкм*). W. O. Robinson и Holmes * считают, что почти вся илистая фракция, получаемая механическим анализом, является вместе с тем и коллоидальной фракцией, т. е. что фракции 0,001—0,00025 *мм* в почвах почти не существует. G. W. Robinson ** считает, обратно, что даже в тяжелых глинах коллоидальные вещества представляют только часть общей илистой фракции.

Joseph ***, который специально занялся этим вопросом, приходит к заключению, что «коллоидальная» глина идентична «обыкновенной» глине. Он приводит свои исследования четырех образцов глин из различных местностей ****. Из этих образцов им была выделена и тщательно очищена ***** илистая фракция (мельче 0,002 *мм*). Для получения из этой фракции коллоидально раздробленных частиц он поступал следующим образом. Разбавленная суспензия из этой фракции (1%-ная и ниже) пропускалась через суперцентрифугу со скоростью 10—20 *л/час*; получающаяся еще более разбавленная суспензия ультраглины свертывалась или же выделялась новым пропусканием через суперцентрифугу, но со скоростью 1—2 *л/час*. С одной из глин (из Gezira) таких повторных вы-

---

* *W. O. Robinson and R. S. Holmes.* The chemical composition of soil colloids.— U. S. Dept. Agr. Bull. N 1311, 1924.

** *G. W. Robinson.* Pedology as a branch of geology.— Geol. Mag., v. 61, 1924, p. 445. *C. W. Robinson.* The form of mechanical composition curves of soils, clays...— J. Agr. Sc., v. 14, 1924, p. 631.

*** *A. F. Joseph.* Clays as soil colloids.— Soil Sci., v. XX, 1925, p. 89.

**** *A. F. Joseph and J. S. Hancock.* The composition and properties of clays.— Trans. Chem., Soc., v. 125, 1924, p. 1888.

***** *A. F. Joseph and F. J. Martin.* The moisture equivalent of heavy soil.— J. Agr. Sc., v. 13, 1923, p. 58.

делений было проделано 47 и из взятых 15 *г* осталось неколлоидальной глины всего 2 *г*, а выделение коллоидальной части было все также еще не закончено. Примерно то же получилось и с другими глинами.

На основании этих данных автор заключает, что при достаточном продолжении отмучивания вся глина перешла бы в коллоидальную. Вместе с тем он приводит данные анализа двух из этих глин, произведенного по его просьбе Sven Oden'ом, в одном из образцов оказалось частиц меньше 0,4 *мкм* 71%, а в другом 68%, а неколлоидальной глины (фракция 0,002—0,0004 *мм*) в первом 29%, во втором 32%. Таким образом, данные Oden'а не подтвердили положения автора о тождестве понятий «обыкновенная» и «коллоидальная» глина даже для его образцов.

Мы думаем, что сама постановка вопроса в том виде, в каком ее делает Joseph, несколько странна. Фракция 0,002—0,0004 *мм* (или фракция 0,001—0,00025 *мм*), т. е. неколлоидальная фракция илистой фракции, есть одна из механических фракций почвы или глины; этой фракции в данном материале, как и любой другой фракции, может не быть вовсе, может быть очень мало, а может быть и сравнительно очень много. Почему именно фракция 0,002—0,0004 *мм* будет всегда отсутствовать или почти отсутствовать в почвах или глинах, является совершенно непонятным и во всяком случае Joseph'ом не доказанным, так как сделать это только экспериментально, без достаточных теоретических обоснований, и притом только на нескольких образцах, конечно, невозможно.

Здесь только совершенно бесспорно: как нами было доказано *, содержание свободных коллоидальных частиц в почве, насыщенной натрием, может быть значительно большим, чем в почве, насыщенной кальцием и магнием (не утверждаю, что так будет всегда для всех почв, ибо возможны такие привходящие условия в частных случаях, когда общее положение будет маскироваться). Образование свободных коллоидальных частиц в этом случае происходит за счет более крупных ультрафракций, а также фракций пыли. Вот данные, приводившиеся мною в указанной выше статье.

Катион, насыщающий почву	Диаметр частиц, *мм*								
				илистая фракция					
	0,25—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	0,001—0,00054	0,00054—0,00040	0,00040—0,00028	0,00028—0,00022	<0,00022	<0,001
Ca и Mg	15,2	26.3	15,6	10,6	20,8	4,0	1,2	1,3	37,9
Na	13,0	19,2	5,6	2,6	4,3	3,2	1,8	45,3	57,2

* *К. Гедройц.* Ультрамеханический состав почвы в зависимости от рода катионов...— Журн. оп. агр., т. 22, кн. 1, 1924, стр. 29. (См. стр. 108 в наст. томе).

В данной почве образование свободных коллоидальных частичек шло главным образом за счет распыления средней и мелкой пыли и фракций 0,001—0,00054 и 0,00054—0,00040 *мм* (особенно последней) ила; нет никаких оснований предполагать, что именно так будет идти распыление и в других почвах; там относительное участие различных фракций в образовании свободных коллоидальных частиц может быть, конечно, иное. У нас нет никаких оснований отрицать существование в глинах или почвах наряду с механическими элементами (не комплексами, не агрегатами!) крупнее 0,001 *мм* и элементов размерами от 0,001 до 0,00025 *мм*. В приведенном нами примере таких элементов мы имеем 12% от веса почвы, что составит от веса илистой фракции 21%, т. е., применяя термины Joseph'a, можно сказать, что в «обыкновенной» глине нашей почвы содержалось 79% «коллоидальной» глины и 21% неколлоидальных частиц.

В заключение вышеизложенных предварительных указаний о составе поглощающего почвенного комплекса укажу, что пока единственным методом возможно полного выделения его из почвы является предложенный мною метод — приведения исследуемой почвы перед отмучиванием в состояние насыщенности натрием; обеспечивает ли он действительно полное выделение этого комплекса, я сказать не могу, но во всяком случае им достигается значительно бо́льшая полнота выделения, нежели какими-либо другими способами. Существенный недостаток его — продолжительность самого насыщения и последующего диализа.

Теперь перехожу к изложению известных мне данных элементарного состава минеральной части поглощающего комплекса.

Элементарный состав алюмосиликатной части почвенного поглощающего комплекса. Мы прежде всего приведем результаты валового анализа коллоидальной части, полученной из различных почв и подпочв, приводимые Robinson'ом и Holmes в цитированной уже нами работе. Исследование производилось над почвами различных штатов, находящихся в очень неодинаковых климатических условиях, и охватило 45 почвенных образцов. Во всех случаях исследовался не весь коллоидальный комплекс, а лишь первая фракция, выделявшаяся по вышеописанному методу.

Цифровой материал представляет большой интерес, а потому мы здесь его приведем в табл. III, за исключением данных для MnO, P_2O_5, SO_3, Cl и CO_3. Авторы вычислили молекулярное отношение в коллоидальной части SiO_2 к полуторным окислам (R_2O_3) и молекулярное отношение между суммой CaO и Na_2O и полуторными окислами и сопоставили величины этих отношений с средним годовым количеством атмосферных осадков и средней годовой температурой. Привожу эти данные в табл. IV. В ней нумерация почвенных образцов та же, что и в табл. III.

Из приведенных таблиц видно, что состав коллоидальных минеральных веществ у разных почв очень разнообразный; так, процентное содержание SiO_2 колеблется в пределах от 31 до 55, процентное содер-

Таблица III

Валовой состав коллоидальной части различных почв и подпочв, по Robinson'у и Holmes, в % от веса сухих коллоидов

№ по порядку	Почвы, послужившие для выделения коллоидальной части	Слой почвы в дюймах	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Гигроскопическая вода	Химически связанная вода	Гумус	Азот	Общее к-во коллоидов в почве, вычисленное на основании поглощения воды
1	Суглинок, Carrington, Jowa	0—12	44,89	0,47	22,59	7,75	1,48	1,44	1,36	0,22	11,22	8,56	11,59	0,61	32,4
2	То же	15—36	48,04	0,65	25,19	8,80	1,29	1,53	0,89	0,38	10,98	9,23	4,52	0,20	29,4
3	Тяж. суглинок, Cecil, Maryland	0—7	36,20	0,62	28,59	16,67	0,51	1,32	0,54	0,02	4,33	12,61	4,63	0,26	19,3
4	Тяж. суглинок, Cecil, Georgia	0—9	33,95	0,62	36,06	11,02	0,31	0,40	0,56	0,44	3,23	14,42	2,25	0,22	10,2
5	То же	9—18	31,84	0,53	38,28	10,04	0,35	0,23	0,46	0,28	4,93	16,56	1,44	0,11	31,0
6	Суглинок, Chester, Virginia	0—7	34,82	1,14	27,88	15,93	0,17	2,86	0,85	0,08	3,86	11,90	5,54	0,36	14,3
7	Суглинок, Chester, Maryland	0—8	39,00	0,58	29,98	11,27	0,93	0,22	1,24	0,32	3,76	11,77	4,11	0,28	8,5
8	То же	8—32	40,03	0,70	30,58	11,34	0,36	0,78	1,14	0,19	5,90	10,26	4,99	0,22	24,8
9	Илистый сугл., Clarksville, Kentucky	0—10	42,40	0,81	26,49	10,05	0,62	1,22	1,76	0,25	10,21	9,89	5,71	0,38	23,3
10	То же	10—36	43,68	0,63	27,70	11,51	0,48	1,39	1,65	0,34	8,00	10,51	2,28	0,20	25,5
11	Илистый сугл., Crowley, Louisiana	0—10	46,95	0,39	27,35	8,77	0,99	1,47	0,85	0,14	1,38	10,63	2,72	0,34	—
12	Тяжелый сугл., Dunkirk, New York	0—8	43,02	0,37	27,92	13,16	0,63	2,32	3,71	0,79	8,16	5,02	2,50	0,30	—
13	Суглинок, Fallon, Nevada	0—12	52,57	0,30	16,49	10,70	2,20	5,67	1,97	1,02	11,78	7,04	1,83	0,09	—
14	Суглинок, Hagerstown, Maryland	0—8	39,93	0,55	29,02	9,45	1,25	1,53	1,61	0,50	3,69	9,94	6,97	0,24	16,7
15	То же	8—30	41,63	0,57	29,86	11,31	0,74	1,42	1,84	0,11	4,16	10,51	2,69	0,10	32,0
16	Черная глина, Houston, Texas	0—12	53,34	0,81	20,77	7,15	5,01	1,39	—	—	9,16	9,60	1,84	0,09	55,6
17	Суглинок, Huntington, Maryland	0—8	37,79	0,40	27,16	11,28	0,70	1,30	2,67	0,54	5,33	8,14	9,82	0,55	23,1
18	То же	8—30	39,54	0,47	26,77	13,33	0,54	1,32	2,67	0,45	4,89	8,24	6,11	0,20	20,8

19	Глина, Iredell, North Carolina	6—24	42,58	0,46	34,26	4,66	0,61	1,43	0,10	0,39	3,98	13,58	0,89	—	—
20	Глина, Lufkin, Missisippi	5—36	55,44	0,76	22,66	8,98	1,85	2,03	0,65	0,07	13,45	7,06	0,71	0,07	—
21	Суглинок, Manor, Maryland	0—7	38,86	0,72	31,11	10,33	0,64	1,23	1,37	0,63	4,63	11,94	3,69	0,21	18,4
22	То же	0—20	40,36	0,70	31,20	10,29	0,38	1,35	1,28	0,45	5,34	11,35	2,56	0,15	18,6
23	Илистый сугл., Marshall, Nebraska	0—14	45,93	0,48	21,72	8,94	1,19	2,01	2,28	0,21	7,75	7,92	8,55	0,51	27,3
24	То же	14—36	48,18	0,50	22,00	10,03	1,36	1,62	2,07	0,15	11,00	9,32	3,96	0,22	34,3
25	Илистый сугл., Miami, Indiana	0—40	46,37	0,70	23,96	11,47	0,92	2,15	2,47	0,40	7,10	8,09	3,67	0,27	22,7
26	То же	10—30	48,48	0,79	24,12	10,44	1,39	2,64	2,88	0,86	5,89	7,64	0,93	0,10	50,1
27	Легкий сугл., Norfolk, N. Carolina	0—8	38,25	0,79	31,21	11,25	0,54	0,53	0,26	0,09	4,45	11,92	4,69	0,22	10,7
28	То же	12—36	41,60	0,71	31,10	11,28	0,34	0,49	0,46	0,22	3,25	11,50	1,60	0,25	20,5
29	Суглинок, Ontario, New York	0—12	38,01	0,38	23,30	10,84	1,37	2,34	2,23	0,14	9,95	3,33	17,13	0,70	18,5
30	То же	12—22	42,40	0,56	24,71	15,27	1,18	2,59	2,39	0,51	9,50	7,22	3,49	0,23	11,4
31	Легкий сугл., Orangeburg, Missisippi	0—10	40,35	0,54	31,04	10,11	0,51	0,73	0,81	0,24	4,34	10,63	4,26	0,26	6,2
32	То же	10—36	40,35	0,44	33,27	10,08	0,45	0,67	0,81	0,29	5,44	11,92	1,68	0,25	21,5
33	Илистый сугл., Sassafras, Maryland	0—8	39,24	0,63	28,64	10,19	0,75	1,16	1,17	0,38	5,44	10,97	6,32	0,43	8,0
34	То же	8—22	41,14	0,70	29,26	12,73	0,53	1,07	1,35	0,42	5,32	12,49	1,59	0,32	18,9
35	Глина, Sharkey, Missisippi	неизв.	50,63	0,88	20,74	9,07	1,92	1,80	1,96	0,34	7,91	8,81	3,47	0,21	—
36	То же	0—4	51,34	0,51	22,61	8,79	1,41	2,48	—	—	9,30	7,45	3,48	0,57	—
37	Глина, Stockton, California	0—12	48,95	1,05	21,54	13,79	1,47	2,16	0,28	0,03	11,91	9,56	1,88	0,16	43,1
38	То же	0—38	49,50	1,14	22,51	10,07	1,96	2,68	0,26	0,66	10,70	10,75	1,20	0,05	23,3
39	То же	38—50	48,61	0,94	22,23	10,13	1,70	3,37	0,78	0,50	8,76	9,69	2,82	0,07	—
40	Глина, Susquehanna, Missisippi	0—4	36,97	0,50	36,91	10,44	0,20	0,42	2,12	0,26	1,56	8,75	2,55	0,14	30,4
41	Глина, Susquehanna, Maryland	5—6	43,71	1,04	28,44	10,72	0,24	2,56	0,86	0,78	2,65	11,12	0,75	—	—
42	Тяжелый сугл., Vega Baja, Porto Rico	0—12	36,26	0,65	32,85	12,44	0,44	0,18	0,36	0,47	2,63	12,73	4,15	0,31	57,8
43	Илистый сугл., Wabash, Nebraska	0—15	51,28	0,49	20,28	9,75	2,19	2,09	1,91	0,21	10,19	6,18	5,55	0,31	29,8
44	То же	15—36	50,55	0,56	20,87	9,57	1,59	2,21	1,97	0,14	10,24	6,74	5,60	0,27	32,4
45	Глина, Yolo, California	0—18	46,25	0,31	16,42	10,00	1,46	5,64	2,54	1,36	7,39	13,42	2,19	0,10	—

Таблица IV

Соотношение между $\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (I), $\frac{CaO + NaO}{R_2O_3}$ (II), средним годовым количеством (в дюймах) атмосферных осадков (III), средней годовой температурой (IV) и цветом почвы (V) по Robinson'у и Holmes

№ почв	I	II	III	IV F°	V
5	1,20	0,25	49	62	Красный
4	1,34	0,30	49	62	»
42	1,34	0,39	69	77	Желтовато-красный
40	1,35	0,18	58	65	Ярко-красный
6	1,54	0,13	44	55	Коричневый
3	1,55	0,23	40	53	Красный
27	1,67	0,29	50	52	Желтовато-коричневый
32	1,71	0,32	53	63	Красный
21	1,74	0,58	40	54	Желтовато-коричневый
7	1,77	0,59	43	53	» »
8	1,79	0,26	43	53	Светлый, красновато-коричневый
22	1,81	0,38	40	54	Желтовато-коричневый
31	1,83	0,35	53	63	Темный, коричневато-красный
28	1,84	0,25	50	52	Желтый
33	1,85	0,57	41	55	Коричневый
17	1,86	0,62	35	53	Темно-коричневый
18	1,89	0,47	35	53	Светлый, красновато-коричневый
34	1,89	0,45	41	55	Красновато-коричневый
15	1,89	0,41	40	54	Коричневато-красный
14	1,91	0,89	40	54	Темный, красновато-коричневый
19	1,93	0,48	52	64	Светлый, желтовато-коричневый
12	1,99	0,69	40	45	Желтовато-оливковый
30	2,08	0,89	34	47	Темный, красновато-коричневый
41	2,10	0,49	41	53	Желтовато-красный
10	2,10	0,41	49	58	Красновато-коричневый
29	2,13	0,89	31	47	Темный, сероватo-коричневый
9	2,18	0,43	49	58	Темно-коричневый
11	2,40	0,62	55	68	Серовато-коричневый
25	2,50	0,75	37	50	» »
2	2,64	0,96	32	47	Темный, серовато-коричневый
26	2,66	1,29	37	50	Коричневый
37	2,72	0,91	14	60	Темно-серый
1	2,75	1,11	32	47	Черный
23	2,82	0,93	30	51	Очень темный серовато-коричневый
39	2,85	1,36	28	62	Светлый, желтовато-коричневый

Продолжение табл.

№ почв	I	II	III	IV F°	V
38	2,87	1,56	28	62	Серовато-коричневый
24	2,87	0,99	30	51	Темный, серовато-коричневый
36	3,07	0,91	54	66	» »
43	3,16	1,63	34	52	Черный
35	3,23	1,53	54	66	Серовато-коричневый
20	3,30	1,22	52	64	Кремовый
44	3,33	1,15	34	52	Черный
45	3,43	2,11	20	58	Светлый, желтовато-коричневый
16	3,56	3,00	38	65	Серый
13	3,82	2,44	5	51	Светло-серый

жание Al_2O_3 — в пределах 16—38 и Fe_2O_3 — в пределах от 4,6 и до 16; еще больше колебания в содержании оснований в коллоидальной части; но согласно табл. IV, имеется некоторая закономерность, во-первых, между отношением кремнекислоты к полуторным окислам и отношением кальция плюс натрия к тем же полуторным окислам: в общем с возрастанием одного возрастает и другое отношение. Коэффициент корреляции между двумя этими отношениями оказался в данном ряде почв равным $+0{,}81 \pm 0{,}04$; такая величина коэффициента определенно указывает на тесную связь между этими двумя отношениями, т. е. на то, что большинство факторов, влияющих на отношение кремнекислоты к полуторным окислам, влияют в том же направлении и на отношение суммы кальция и натрия к этим же полуторным окислам. «Возможно, что кремнекислота, подобно извести и натрию, легче удаляется из коллоидальной части, чем железо и алюминий, и что продолжающееся промывание влечет обеднение коллоидальной части кремнекислотой и известью и натрием; или, может быть, условия, которые определяют низкое отношение кремнекислоты к полуторным окислам во время образования, определяют также низкое отношение суммы кальция плюс натрий к полуторным окислам» *.

Во-вторых, из той же таблицы видна некоторая связь между теми же двумя отношениями и средним годовым количеством атмосферных осадков. Для этого количества и отношения кремнезема к полуторным окислам коэффициент корреляции равен $-0{,}58 \pm 0{,}07$, а для него же и отношения суммы кальция и натрия к полуторным окислам он равен $-0{,}52 \pm \pm 0{,}07$; таким образом, имеется несомненная, но не столь определенная зависимость между химическим составом и атмосферными осадками, воздействию которых в настоящее время коллоидальные вещества почвы

* *W. O. Robinson and R. S. Holmes.* Loc. cit., p. 24.

подвергаются. Между теми же отношениями и температурой табл. IV не обнаруживает какого-либо соотношения; коэф. корреляции в этом случае равняется —0,22±0,09 и 0,06±0,10. «Атмосферные осадки представляют более существенный климатический фактор в отношении определения химического состава коллоидов исследовавшихся почв, нежели температура».

Нам известны еще три работы, в которых авторы частично использовали материал валового анализа коллоидальной части почв, полученный Bureau of Soils и приведенный нами в табл. III. На этих работах мы сейчас и остановимся.

Gile * из данных Bureau of Soils останавливается на 11 почвах, составляющих ряд с постепенным изменением величины молекулярного отношения между SiO_2 и $Al_2O_3+Fe_2O_3$ в коллоидальной их части, и сопоставляет это отношение с различными свойствами коллоидальной части: с теплотой смачивания, с количеством поглощаемых сухих паров аммиака, с количеством малахитовой зелени, поглощаемой этими коллоидами, и с некоторыми другими свойствами (какие, не указано). Цифровых данных в статье нет, а приводятся графики. На основании этого исследования автор приходит к таким выводам.

Коллоидальная минеральная часть различных почв имеет одну и ту же общую природу. Свойства ее у различных почв изменяются приблизительно пропорционально молекулярному отношению SiO_2 к Al_2O_3+ $+Fe_2O_3$. Преобладающим катионом является кальций ** и количество его изменяется параллельно изменению количества SiO_2+ органическое вещество, но далеко не пропорционально. Коллоидальная часть почвы представляет сложную смесь силикатов и окисей; эти соединения могут быть как в аморфном, так и в кристаллическом состоянии; последнее доказывается получением ясного рентгеновского спектра. Многие коллоидальные частички, очевидно, составлены из других, более мелких частиц различного состава.

Gile задается вопросом, почему почвенные коллоидальные вещества хотя, конечно, и претерпевают некоторые изменения, но все-таки в течение ряда тысячелетий остаются дисперсно-раздробленными, тогда как чистые неорганические гели теряют свои характерные особенности в продолжение сравнительно очень коротких периодов. Он делает допущение, что эта устойчивость является результатом сложности смеси коллоидальных веществ почвы и что, возможно, именно кремнекислота и органические вещества почвы являются главными компонентами в этой смеси, защищающими коллоидальные почвенные частички от уменьшения степени их дисперсности.

Вопрос, затрагиваемый автором, очень сложен и едва ли может быть

---

* *P. L. Gile.* Nature of the Colloidal Soil Material.— Coll. Symposium Monograph., v. III, 1925, p. 216—227.

** Автору, очевидно, было неизвестно содержание поглощенного натрия в солонцах, где этот катион может значительно преобладать над кальцием.

удовлетворительно разрешен в настоящее время; но вместе с тем не могу не отметить, что путь, намечаемый Gile для его разрешения, едва ли правилен. В большинстве почв свободная коллоидальная кремнекислота по своему количеству представляет совершенно ничтожную величину по сравнению с общей массой коллоидальных частиц; совершенно то же надо сказать и относительно органической коллоидальной массы в подпочвенных горизонтах и в материнских породах, где, однако, коллоидального материала может быть также очень много.

Мы думаем, что дело тут в чем-то другом, и, между прочим, быть может, тут играют роль два следующих момента: во-первых, установившееся подвижное равновесие: какая часть коллоидального материала теряет свою коллоидальность, такое же количество его вновь возникает. Во-вторых, большая часть коллоидальных частиц почвы и подпочвы представляет из себя различного рода силикаты и алюмосиликаты; вода на них действует не растворяюще, а разлагающе; поэтому в маточном растворе мы не имеем того состава, который необходим для роста этих коллоидальных частиц, и они остаются таковыми; иное дело с простыми гелями SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3; как раз именно для них-то, вследствие нахождения их же и в истинном растворе, должно наблюдаться старение их гелей.

Работа Anderson'а и Mattson'а * затрагивает те же вопросы, что и работа Gile и оперирует почти с теми же почвами; но в ней приводятся цифровые данные для теплоты смачивания и поглощения газообразного аммиака коллоидальным материалом 13 почв; эти данные мы приводим в табл. V.

Наконец, в третьей работе из этой серии, автор ее ** сопоставляет валовой состав (собственно молекулярное отношение SiO_2 к сумме полуторных окислов) коллоидальной части 7 почв и бентонита с емкостью поглощения и с количеством метилен-блау, необходимым для получения изоэлектрической точки. Если к коллоидальным почвенным частичкам, несущим отрицательный заряд, прибавлять раствор метилен-блау все в возрастающем количестве, то отрицательный заряд постепенно уменьшается, достигается изоэлектрическая точка, а затем дальнейшее прибавление вызывает положительный заряд коллоида.

По данным автора, как видно из прилагаемой табл. VI, изоэлектрическая точка достигается тогда, когда все поглощенные катионы почвенных коллоидов замещены катионами метилен-блау. Из той же таблицы мы видим, что емкость поглощения и количество метилен-блау, необходимое для нейтрализации отрицательного заряда коллоида, изменяются приблизительно параллельно отношению (молекулярному) SiO_2 к $Al_2O_3+Fe_2O_3$ в коллоидальной части почвы.

---

* *M. S. Anderson a. S. G. Mattson.* The Relation between Properties and Chemical Composition of Soil Colloids.— Science, v. 62, 1925, N 1596, p. 114—115.

** *S. Mattson.* The Relation between the Electrokinetic Behaviour and the Base Exchange Capacity of Soil Colloids.— Journ. of Amer. Soc. of Agronomy, v. 18, 1926, p. 458—470.

Таблица V

Теплота смачивания, поглощение аммиака (сухого) и отношение SiO_2 к $Al_2O_3+Fe_2O_3$ в коллоидах, выделенных из различных почв по Anderson'у и Mattson'у

Почва, из которой получен коллоидальный материал	Молекулярное отношение $\frac{SiO_2}{Al_2O_3+Fe_2O_3}$	Теплота смачивания, *кал* на 1 *г* коллоида	NH, поглощенный 1 *г* коллоида, *г*	Относительные числа: $\frac{SiO_2}{Al_2O_3+Fe_2O_3}$	Относительные числа: теплота смачивания	Относительные числа: поглощенный NH_3
1. Подпочва Cecil	1,20	4,5	0,0192	0	0	3
2. Почва »	1,34	6,2	0,0239	7	13	12
3. Почва Chester	1,77	7,2	0,0293	28	21	26
4. Подпочва Norfolk	1,84	6,0	0,0295	32	11	27
5. Почва Huntington	1,86	8,3	0,0319	33	29	32
6. Подпочва Sassafras	1,89	9,8	0,0340	34	40	37
7. Подпочва Hagerstown	1,89	7,9	0,0299	34	26	28
8. Подпочва Susquehanna	1,98	5,3	0,0177	40	6	0
9. Почва Miami	2,66	11,8	0,0358	72	56	41
10. Почва Marshall	2,82	14,2	0,0536	89	74	82
11. Почва Stockton	2,85	16,3	0,0617	81	90	100
12. Почва Wabash	3,16	17,6	0,0614	97	100	99
13. Почва Sharkey	3,23	16,3	0,0609	100	90	98

Таблица VI

Почва, из которой получена коллоидальная часть	Емкость поглощения, *мг-экв/г* коллоида	Количество метиленблау, потребное для нейтрализации отрицательного заряда 1 *г* коллоида, *мг-экв*	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3+Fe_2O_3}$
Бентонит Ardmore	1,102	1,088	3,81
Суглинистая Fallon	0,947	0,770	3,82
Глинистая Sharkey	0,796	0,678	3,18
Суглинистая Marshall	0,671	0,536	2,82
Суглинистая подпочва Sassafras	0,331	0,220	1,89
Легко суглинистая Norfolk	0,207	0,153	1,63
Глинистая подпочва Aragon	0,164	0,019	0,55

Из вышеизложенного видно, что сотрудниками Bureau of Soils Департамента земледелия США проделана чрезвычайно большая работа по изучению коллоидальной части почвы; такая работа могла быть осуществлена лишь при тех материальных и технических средствах, какими обладает это Bureau.

Надо, однако, отметить, что, к сожалению, эта колоссальная работа далеко не может дать всего того, чего можно было бы от нее ожидать,

если бы в основу выбора почвенных образцов для этого исследования был положен генетический признак; если бы исследование это было произведено с образцами почв определенных типов почвообразования и послойно, то полученный материал дал бы возможность, конечно, подметить зависимость валового состава (или тех или других соотношений между элементами) коллоидальной части почвы от типа почвообразования, так как, несомненно, зависимость тут должна быть. Тогда и отношение SiO_2 к $Al_2O_3+Fe_2O_3$ могло бы быть более полно использовано для познания свойств коллоидальной части почвы. В цитированных же работах оно использовано, по-моему, односторонне и не вполне правильно.

Несомненно, различные коллоидальные свойства поглощающего почвенного комплекса находятся в зависимости от этого отношения; между ними должен быть известный, но далеко не полный параллелизм, не полный по многим причинам: кроме минеральной части имеется еще органическая часть поглощающего комплекса, различная, конечно, и по величине и по дисперсности в различных почвах; SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 входят в минеральный поглощающий комплекс в виде соединений, а затем в почве они могут быть и в свободном состоянии и опять-таки в количествах, различных в различных типах почвы; затем коллоидальная часть почвы представляет совокупность частиц различной величины, процентное же содержание кремнекислоты и полуторных окислов в различных ультрафракциях не одинаково; чем мельче фракция, тем, по всей вероятности, меньше в ней валовой SiO_2 и больше полуторных окислов; а так как ультрамеханический состав у различных почв не может быть одинаков, то ясно, что и отношение SiO_2 к $Al_2O_3+Fe_2O_3$ не может идти совершенно параллельно коллоидальным свойствам поглощающего комплекса.

Нам кажется, что центр тяжести интереса сопоставления коллоидальных свойств как с отношением SiO_2 к $Al_2O_3+Fe_2O_3$, так и с другими возможными отношениями и комбинациями именно и заключается в констатировании и расшифровании тех отклонений от параллелизма, какие наблюдаются, так как эти именно отклонения и дадут нам возможность выявить особенности коллоидального комплекса данной почвы, а вместе с тем установить зависимость характера и свойств поглощающего почвенного комплекса от типа почвообразования. Но для этого, конечно, прежде всего необходимо связывать само это изучение с генезисом почвы.

В выше цитированной работе Robinson'а и Holmes изучался элементарный состав коллоидальной части почв, находящихся в различных климатических условиях. Имеется исследование R. Bradfield'а* над составом коллоидального комплекса из 11 почв, взятых в различных местах штата Missouri, т. е. находящихся примерно при одних и тех же климатических условиях. Метод выделения в общем схож с методом, применявшим-

---

* *R. Bradfield.* The Chemical Nature of Colloidal Clay.— Journ. of Amer. Soc. of Agronomy, v. 17, 1925, N 5, p. 253, см. также его статью: The Nature of the Chemical Reactions of Colloidal Clay.— Colloid Symposium Monograph, v. I, 1923, p. 369.

ся Robinson'ом и Holmes. Коллоидальная часть выделялась также не полностью. В табл. VII приводим эти данные за исключением марганца.

Таблица VII

Элементарный состав коллоидальной части почв штата Missouri по Bradfield'у, %

№ п.п.	Почвы	Гигр. вода	Летучие в-ва	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
1	Memphis	10,60	11,76	50,00	28,21	3,53	1,14	1,84	1,68	0,600
2	Robertsville	10,86	13,38	49,81	29,23	3,72	0,94	1,51	1,25	0,000
3	Boone D.	11,28	12,47	48,77	29,90	4,05	0,23	1,37	0,80	0,120
4	» C.	12,30	11,88	50,54	28,86	4,45	0,73	1,42	1,01	0,071
5	Clarksville	12,66	11,34	51,34	28,00	4,53	0,29	1,54	1,25	0,301
6	Wabash	12,58	11,16	50,11	24,51	3,39	1,75	2,41	1,87	0,602
7	Sharkey	12,83	11,51	52,78	24,19	4,73	1,23	2,56	1,63	0,854
8	Bates	12,46	12,43	51,18	25,59	5,17	0,99	1,80	1,34	0,318
9	Putnam B. F.	12,17	13,37	50,22	27,65	4,74	0,92	1,52	0,85	0,449
10	Marion	12,44	11,83	50,15	26,53	5,51	0,44	1,75	1,06	0,302
11	Cherokey	10,69	14,09	48,79	30,42	3,80	0,35	1,29	1,03	0,555
	Среднее	11,90	12,29	50,11	27,55	4,33	0,82	1,73	1,25	0,379

Из этой таблицы видно, что химический состав коллоидальной части исследовавшихся Bradfield'ом почв неодинаков; процентное содержание SiO_2 колеблется в них от 48,77 до 52,78, окиси алюминия в пределах 24,19 до 30,42, окиси железа — в пределах от 3,51 до 5,51; окиси кальция от 0,23 до 1,75; окиси магния от 1,29 до 2,56; окиси калия от 0,80 до 1,87 и Na_2O от 0,000 до 0,854. Колебания в содержании оснований значительно сильнее, нежели в содержании кремнекислоты и полуторных окислов; наибольшее постоянство имеем в содержании SiO_2. Но в общем химический состав коллоидальной части в этих почвах в отношении кремнекислоты, алюминия и железа значительно более постоянен, нежели в почвах, исследованных Robinson'ом и Holmes; здесь мы имеем совершенно ясное влияние климатических условий. Что касается оснований, то здесь влияние климата не так резко сказалось; данные показывают, что в пределах довольно однообразного климата страны (не почвы!) количественный состав оснований в коллоидальной части почвы может колебаться так же сильно или примерно так же сильно, как и в почвах различных климатических зон. Очевидно, здесь играют существенную роль чисто местные условия.

Вопрос о соотношении между химическим составом коллоидальной части почвы и ее физическими и химическими свойствами затрагивается и Joseph'ом в цитированной уже мною его работе «Clays as Soil Colloids» (Soil Sci., v. XX, 1925, p. 89), причем он пользуется данными как своими,

так и других исследователей, и за мерило химического состава коллоидальной части принимает молекулярное отношение $SiO_2 : Al_2O_3$ в этой части.

Вот его данные для 6 суданских почвенных глин (очевидно, для всей илистой фракции, из текста неясно).

№ образцов	$SiO_2:Al_2O_3$	Имбибиционная вода *	Скорость испарения **	№ образцов	$SiO_2:Al_2O_3$	Имбибиционная вода *	Скорость испарения **
7900	2,85	44	0,202	9223	3,93	111	—
8320	3,77	79	0,178	6960	3,95	118	0,093
6640	3,90	101	0,072	9228	4,79	120	0,054

* Вода, поглощаемая почвою сверх той, которая заполняет поры почвы. Определялась по *E. A. Fischer*. Remarks and Observations on Imbitional Soil Moisture.— J. Agr. Sci., v. 14, 1924, p. 204; определяется эквивалент влажности, во-первых, обычным путем, т. е. помощью воды, а во-вторых, помощью ксилола; из полученного объема воды вычитается объем ксилола, разность дает имбибиционную воду.

** Скорость испарения определялась по B. A. *Keen*. The Evaporation of Water from Soil. J. Agr. Sci., v. 6, 1914, p. 456; процент воды, теряемой в минуту, при 35° C и 10%-ной влажности.

Корреляция между величиной отношения SiO_2 к Al_2O_3 и свойствами вполне удовлетворительная, исключая скорости испарения одного образца глины.

Далее Joseph заимствует данные валового анализа почвенных коллоидов из работы Robinson'а и Holmes и сопоставляет отношение SiO_2 к Al_2O_3 с разными свойствами. Вот данные для двух образцов:

	№ 31	№ 43
$SiO_2 : Al_2O_3$	2,200	4,290
Связность	33,000	154,200
Теплота смачивания	—	17,000
Поглощение воды	263,000	333,000
Имбибиционная вода	79,000	134,000
Скорость испарения	0,151	0,108

Если сопоставить эту таблицу с предшествующей, то здесь обнаружится отсутствие корреляции между химическим составом коллоидов той и другой таблицы и имеющимися там и здесь общими свойствами, и Joseph совершенно правильно указывает, что удовлетворительного параллелизма можно ожидать только в группах материалов сходного происхождения и общего химического состава.

Приведем еще данные Joseph'а для двух илистых фракций («обыкновенная» глина и выделенные из нее коллоиды), показывающие степень гомогенности глины.

		$SiO_2:Al_2O_3$	Поглощение метилена синего, %
№ 6960	Вся глина	3,95	29
	Выделенная коллоидальная глина	4,54	72
№ 10195	Вся глина	3,90	35
	Выделенная коллоидальная глина	4,20	41

Эти данные, по нашему мнению, также говорят против идентичности «обыкновенной» глины и ее коллоидальной части (см. стр. 275).

Novak и Smolik* выделили и исследовали коллоидальные частички из 10 образцов чехословацких почв. Для получения коллоидальной части они поступали следующим образом. Почва предварительно обрабатывалась разведенной соляной кислотой (концентрация не указана), кислота затем отмывалась, и почва взмучивалась в воде, к которой прибавлялось немного аммиака.

Сосуд с взмученной почвой оставлялся в покое на 128 дней, после чего сливался сифоном слой мутной жидкости в 10 *см*. По формуле Стокса в этом слое оставались частички с диаметром меньше 0,0001 *мм*. Для некоторых почв в исследование поступал сухой остаток только этого первого сливания, для других же почв после первого сливания снова прибавлялась вода до первоначальной высоты, и снова производилось такое же отстаивание, и неосевшие в течение 128 дней частички прибавлялись к частичкам первого сливания и исследовались вместе.

Таким образом, авторы в этом исследовании не распыляли полностью агрегатов коллоидальных частиц почвы и выделяли не полностью имевшиеся уже в почве свободные коллоидальные частички; исследованию они подвергали поэтому заведомо не весь поглощающий почвенный комплекс. Для восьми из исследованных образцов авторы приводят полный валовой анализ выделенной ими части поглощающего комплекса.

В табл. VIIIa мы приводим данные, снабдив их для каждой почвы молекулярными отношениями $SiO_2 : Al_2O_3+Fe_2O_3$ и $SiO_2 : Al_2O_3$ (в статье приведены эти отношения не для молекулярных, а абсолютных количеств кремнекислоты и полуторных окислов). Для этого исследования послужили образцы следующих почв: I — суглинистый деградированный чернозем (пахотная почва); II — суглинистая подпочва; III — подпочвенная глина; IV — суглинистый деградированный чернозем (пахотная почва), гор. 10—20 *см*; V — то же, подпочва 105—115 *см*; VI — оподзоленная почва на делювии (пахотная), гор. 10—20 *см*; VII — опод-

---

* *V. Novak et L. Smolik*. Sur la quantité et la composition chimique de l'argile colloidale des soils. Actes IV. Confer. Intern. de Pedologie. 12—19 Mai, 1924, v. II. Rome, 1926, p. 128. Результаты исследования трех образцов были опубликованы кроме того в Koll. Zeitschr., 1922.

Таблица VIIIa

Валовой анализ коллоидальной фракции различных почв, по Nowak'у и Smolik'у

	Номер образца							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
SiO_2	53,91	55,53	(43,89)	52,700	56,000	59,200	46,100	47,400
Al_2O_3	14,46	15,08	14,26	12,251	21,502	16,516	19,914	19,118
Fe_2O_3	17,68	18,97	27,75	8,359	9,927	11,040	6,011	12,306
Mn_3O_4	3,65	0,97	1,71	0,372	0,821	1,568	1,518	3,749
CaO	1,48	1,11	2,16	12,860	1,862	2,759	8,520	1,239
MgO	1,55	0,37	1,53	2,354	4,428	1,386	6,451	7,533
K_2O	0,49	2,31	4,38	0,401	1,039	0,448	2,996	1,993
Na_2O	1,15	0,83	3,10	4,600	3,126	0,929	5,798	1,880
P_2O_5	1,58	1,21	1,22	4,229	1,320	5,675	3,092	4,160
SO_3	—	—	—	1,919	Сл.	0,174	Сл.	0,172
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3+Fe_2O_3}$	3,6	3,5	2,5	5,1	3,4	4,2	3,3	3,0
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	6,3	6,3	5,2	7,3	4,4	6,0	3,9	4,2

золенная почва на гнейсе (пахотная), гор. 10—20 *см*; VIII — лесная суглинистая оподзоленная почва, гор. 3—17 *см*.

В приведенных данных обращает на себя внимание очень большое содержание железа в коллоидальной части первых трех образцов (особенно третьего — 27,75%); причем в первом образце, деградированном черноземе, окиси железа 17,68%, а в другом образце деградированного чернозема (№ IV) ее всего 8,36% (примерно столько же, как по нашим данным, см. ниже, в наших черноземах). Отмечу далее, что из трех образцов оподзоленных почв (верхние горизонты) в двух содержание железа тоже чрезвычайно высокое (в № VI Fe_2O_3 11,0, а в № VIII — 12,3%), между тем это, по всей вероятности, элювиальные горизонты.

Молекулярные отношения SiO_2 к $Al_2O_3+Fe_2O_3$ и к Al_2O_3, как видно из таблицы, для исследованных образцов колеблются очень сильно: первое от 3,0 до 5,1, а второе от 3,9 до 7,3.

В статье приводятся данные воздействия на коллоидальную часть некоторых из исследованных образцов 10%-ной солянокислой вытяжки. На основании полученных результатов авторы приходят к выводу, что основой коллоидальной части почвы является алюмосиликатная кислота, соединенная (не в смысле абсолютно химическом) в неустойчивые соединения с органическими веществами, которые фиксируют другие вещества.

В последнее время, благодаря работам сотрудника Мичиганской опытной станции C. J. Bouyoucos, в Америке заинтересовались определением

той теплоты, которая выделяется при смачивании сухой почвы водой. На эту величину «теплоты смачивания» почвы, открытой Вильгельми, обратил уже очень давно внимание A. Mitscherlich (см. его диссертацию «Beurteilung der physik. Eigenschaften des Ackerbodens mit Hilfe seiner Benetzungswärme Kiel, 1898; реф. в Журн. оп. агр., т. 1, 1900, стр. 327) и усовершенствовал методику ее определения.

Bouyoucos * нашел, что теплота смачивания находится в определенном соотношении с количеством связанной воды в почве: обе эти величины изменяются параллельно почти во всех исследованных им почвах; вместе с тем обе они находятся в связи с количеством коллоидов в почве.

В настоящее время величину теплоты смачивания стремятся использовать для изучения коллоидов почвы. Исследования Anderson'а ** показали, что коллоидальные вещества, выделенные (не полностью) из различных почв, обладают очень неодинаковой теплотой смачивания; кроме того, как видно из прилагаемой таблицы, между теплотой смачивания коллоидов почвы и самих почв нет какого-либо параллелизма, и у некоторых почв теплота их смачивания выше, чем теплота смачивания коллоидов других почв.

Теплота смачивания определялась по Patrick'у и Grimm'у ***.

Почва	Теплота смачивания 1 *г*, *кал*	
	коллоидов	почвы
1. Тяжелая суглинистая подпочва Cecil	4,5	1,6
2. Легкосуглинистая подпочва Norfolk	6,0	1,5
3. Суглинистая подпочва Chester	7,2	1,1
4. Среднесуглинистая подпочва Sassafras	9,8	2,2
5. Тяжелая суглинистая подпочва Miami	11,8	6,4
6. Суглинистая почва Marshall	14,2	4,3
7. Глинистая почва Sharkey	16,3	9,6
8. Среднесуглинистая почва Wabash	17,6	5,2

Таким образом, теплота смачивания различных почв не может служить показателем относительного содержания коллоидов в этих почвах. Но если выделить из почвы только часть коллоидальных веществ, то на основании величин теплоты смачивания этих коллоидов и всей почвы можно приблизительно судить о количестве всей коллоидальной фракции в почве. Anderson дает для этого вычисления формулу:

* *G. J. Bouyoucos.* Relationship between the unfree water and heat of wetting of soils and its significance.— Techn. Bull., N 42, Michigan Exp. Station, 1918.

** *M. S. Anderson.* The heat of wetting of soil colloids.— J. of Agric. Research, v. 28, 1924, p. 927.

*** *W. A. Patrick and F. V. Grimm.* Heat of wetting of silica gel.— J. Amer. Chem. Soc., v. 43, 1924, p. 2144.

$$\frac{\text{Теплота смачивания 1 } г \text{ почвы}}{\text{Теплота смачивания 1 } г \text{ коллоидов}}\times 100,$$

т. е. совершенно аналогичную формуле, предложенной Gile с сотрудниками для вычисления общего количества коллоидальной фракции почвы по величине поглощения всей почвою и частью выделенных коллоидов *.

Насколько эти способы дают согласные между собой результаты, видно из нижеследующей таблицы, приводимой Anderson'ом в выше цитированной работе (почвенные образцы те же, что в предшествующей таблице):

Почва	Процентное содержание коллоидов в почве, вычисленное на основании			
	теплоты смачивания выделенной части коллоидов и почвы, *кал*	поглощения выделенной частью коллоидов и почвою		
		краски	H_2O	NH_3
1	35,6	25,4	31,5	26,0
2	25,0	23,7	20,5	18,6
3	15,3	11,0	8,5	16,7
4	22,5	13,2	18,9	21,8
5	54,2	54,8	50,1	54,2
6	30,3	26,3	27,3	33,6
7	58,8	56,6	61,2	58,8
8	29,5	29,4	29,8	34,5

В этой же работе имеется сравнение количества коллоидальных веществ для трех почвенных образцов, полученного по вычислению на основании теплоты смачивания выделенной части коллоидов и всей почвы, с действительным их количеством, найденным посредством почти полного выделения их из почвы. Вот эти данные.

Образец	Теплота смачивания, *кал*		Содержание коллоидов, %			Истинное содержание коллоидов в почве, %
	1 *г* почвы	1 *г* выделенных коллоидов	вычисленное по теплоте смачивания	выделенных из почвы	оставшихся невыделенными из почвы	
Глинистая почва	9,5	11,6	89,1	53	17	70
Глинистая подпочва	10,8	10,5	102,0	66	10	76
Суглинистая подпочва	2,2	5,3	41,5	16	2	18

* *P. L. Gile, H. E Middleton, W. O Robinson, W. H. Fry and M. S. Anderson.* Estimation of Colloidal Material in Soils by Adsorption — U. S. Depart of Agric, Bull. N 1193, 1924.

Из приведенных данных видно, что теплота смачивания коллоидов, выделенных из различных почв, может колебаться в широких пределах; очень различна она и у искусственно приготовленных гидрогелей; так, по Bouyoucos'y * теплота смачивания 1 *г* гидрата окиси алюминия 21,95 *кал*, 1 *г* гидрата окиси железа 9,39 *кал*. и 1 *г* геля SiO_2 — 24,5 *кал*.

Различия в теплоте смачивания различных коллоидов в первую очередь обусловливается, конечно, степенью их дисперсности и физическим их состоянием, под которым я в данном случае понимаю степень связанности отдельных коллоидальных частиц между собой и с механическими элементами других фракций.

Затем эта величина, несомненно, находится в связи с химическим составом коллоидальной части почвы; вопрос здесь лишь в том, влияет ли в данном случае химический состав коллоидальной частички непосредственно, или же влияет он тем, что разного состава коллоидальные частички почвы имеют вследствие этого и разную степень дисперсности. Так, например, органические вещества почвы имеют очень высокую теплоту смачивания (по данным Bouyoucos'a, у торфа — 21,71, у навоза 37,51 *кал* на 1 *г*); вопрос теперь в том, не потому ли у них большая теплота смачивания, что степень их дисперсности (что обусловливается их химическим составом) очень высока; и не будут ли иметь и минеральные коллоиды с такой же высокой степенью дисперсности такую же величину смачивания.

В ранее приведенных работах по изучению состава коллоидов почвы мы уже приводили данные соотношения этого состава с величиной теплоты смачивания коллоидальной части почвы. Теперь мы еще остановимся на данных Pate **. Он исследовал теплоту смачивания коллоидальной части почвы, насыщенной различными катионами. Во всех случаях коллоиды, насыщенные одновалентными основаниями (Na, NH_4, K), имели меньшую теплоту смачивания, чем насыщенные Ca, Ba и Mg, а также водородом. Результат несколько странный. Может быть, он объясняется тем, что избыток солей после насыщения удалялся автором просто промыванием почвы водой, а не диализом; а при этом, конечно, из почв, насыщенных Na, K и NH_4, должна была вымыться наиболее дисперсная и наиболее деятельная часть органических коллоидов.

В этой же работе автор сопоставляет молекулярное отношение $SiO_2 : Al_2O_3 + Fe_2O_3$ в коллоидальной части, выделенной сотрудниками Bureaul of Soils, USA (см. табл. III), с различными свойствами, и в том числе с теплотой смачивания. Данные эти мы приведем в нижеследующей таблице (нумерация почв, из которых выделены были коллоиды, та же, что в табл. III), в качестве материала по вопросу об этой зависимости, так как, по нашему мнению, сам этот вопрос в такой по-

* *G. J. Bouyoucos*. The Chief Factors which Influence the Heat of Wetting of Soil Colloids.— Soil Sci., v. XIX, 1925, p. 477.

** *W. W. Pate*. The influence of the amount and nature of the replaceable base upon the heat of wetting of soils and soil colloids.— Soil Sci., v. XX, 1925, p. 329.

становке, какая ему сейчас придана, может быть разрешен лишь статистическим методом.

№ почвы, из которой получена коллоидальная часть	Молекулярное отношение SiO_2 к $Al_2O_3+Fe_2O_3$ в коллоидах	Теплота смачивания коллоидальной части, *кал*	Поглощение красок, %	Поглощение аммиака, %	Поглощение воды, %
5	1,20	4,5	15,82	1,92	28,70
7	1,77	7,2	13,48	2,93	23,98
28	1,84	6,0	11,58	2,95	27,55
34	1,89	9,8	21,88	3,40	30,97
26	2,66	11,8	20,96	3,58	30,75
23	2,82	14,2	29,78	5,36	29,40
36	3,07	16,3	37,57	5,09	30,80
43	3,16	18,6	36,98	6,14	33,25

В выше цитированной работе Д. В. Иванова приводится элементарный состав минеральной части поглощающего почвенного комплекса четырех образцов чернозема Воронежской губ. Коллоидальная часть выделялась из почвы, предварительно насыщенной натрием; комплекс был, по-видимому, выделен целиком и притом разбит на две фракции: от 0,00025 до 0,0001 *мм* и меньше 0,0001 *мм*. Кроме того, дается состав неколлоидной фракции 0,001—0,00025 *мм*. Так как все четыре образца мало отличаются по составу их поглощающего комплекса, мы в табл. VIIIб приведем данные только для одного образца из Каменной степи с залежи (глубина взятых образцов не указана).

Таблица VIIIб

Элементарный состав минеральной части поглощающего комплекса из чернозема Каменной степи Воронежской губ. из-под залежи, по Д. В. Иванову

Фракция, *мм*	Общее количество фракции, % от веса почвы	Гумус, % от веса фракции	Хим. связанная вода, % от веса фракции	Минеральная часть поглощающего комплекса, % от веса почвы	Состав минеральной части фракции, % от ее веса					
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O
0,0001—0,0	14,39	4	11,77	9,15	31,11	14,20	4,52	22,61	13,51	14,25
0,0001—0,00025	17,73	4,53	11,77	14,81	54,75	24,36	11,61	0,68	3,74	4,64
0,00025—0,001	—	—	—	—	60,02	22,17	9,04	0,45	4,60	—

В данных, приведенных в табл. VIIIб, обращает на себя внимание и не поддается объяснению колоссальное содержание оснований, кальция, магния и натрия в коллоидальной фракции мельче 0,0001 *мм* и полное отсутствие как в ней, так и в следующей более крупной фракции коллоидального комплекса калия. Если высчитать, например, по процентному содержанию СаО в минеральной части фракции 0,0001—0,0 *мм* поглощающего комплекса абсолютное содержание СаО в этой фракции, то получим величину 2,47 *г*, т. е. если принять во внимание только кальций этой фракции поглощающего комплекса, то в почве будем иметь 2,47% СаО, т. е. почти что максимальное процентное содержание кальция в черноземах; значит, на долю остальных механических фракций почти вовсе не приходится кальция, т. е. все фракции почвы крупнее 0,0001 *мм* почти вовсе лишены этого элемента; по данным анализа автора это действительно и имеет место уже даже для фракций 0,00025—0,0001 и 0,00025—0,001 *мм*, в которых СаО всего лишь около 0,5%; то же примерно получится и для магния и натрия, если взять сумму коллоидальных фракций: на долю неколлоидальной части почвы придется тогда очень мало и того и другого элемента.

Для нас это непонятно, так как противоречит имеющимся данным по содержанию различных элементов в механических фракциях почвы. В статье своей Д. В. Иванов не приводит валового анализа самой почвы; быть может, валовой состав почвы помог бы разобраться в этом вопросе. Если в приведенных данных нет какой-нибудь случайности, то на основании их приходится придти к такому заключению, что различные фракции минеральной части поглощающего почвенного комплекса могут различаться между собою чрезвычайно сильно по элементарному составу; если это так, то можно еще с большим основанием возлагать

Элементарный состав алюмосиликатного

(комплекс частиц меньше

Почва и горизонт	Общее количество поглощающего комплекса	Количество органического поглощающего комплекса	Количество минерального поглощающего комплекса	Гигроскопическая вода, % от веса возд-сухой почвы	% от веса	
	% от веса сухой почвы				химически связанная вода	гумус *
Тяжелый чернозем Кубанской обл.; гор., 90—110 *см*	35,4	1,13	34,27	10,86	9,31	3,20
Суглинистый чернозем Тульской губ., гор. 0—20 *см*	28,8	2,92	25,88	11,60	13,61	10,14

* Цифры гумуса получены А А Роде, остальные автором.

надежды на то, что с помощью дробного фракционного анализа почвенного поглощающего комплекса удастся подойти к вопросу о составе его соединений.

Если, отбросив основание, вычислить процентное содержание кремнекислоты, окиси алюминия и окиси железа от общей их суммы, то мы получим:

Фракции, *мм*	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
0,0001—0,0	62,6	28,4	9,0
0,00025—0,0001	60,4	26,8	12,8

т. е. что чрезвычайно сильное различие в элементарном составе вышеприведенных двух фракций поглощающего комплекса почвы, исследованной Д. В. Ивановым, обусловливается главным образом различным содержанием в этих фракциях кальция, магния и натрия, остальная же, основная часть минерального поглощающего комплекса, примерно одного и того же состава; больше всего разница в содержании железа, которого в более мелкой части комплекса оказалось на одну четверть меньше, чем в более крупной.

На основании валового анализа Д. В. Иванов делает попытку подойти к вопросу о минералогическом составе фракций 0,00025—0,0001 *мм* и меньше 0,0001 *мм*. Останавливаться на этой части работы мы здесь не будем, так как выводы автора недостаточно обоснованы; в этой области нет еще достаточных данных для научного обоснования каких-либо положений, и подобные попытки мы считаем преждевременными, а создаваемые в этом направлении гипотезы вовсе не помогающими дальнейшему развитию вопроса.

Перехожу теперь к своим данным. В табл. IX привожу элементарный состав выделенного мною нацело поглощающего комплекса двух образцов почв: гор. 90—110 *см* слитого тяжелого чернозема Кубанской области (колл. проф. С. А. Яковлева) и гор. 0—20 *см* суглинистого чернозема Тульской губ. Оба образца сначала полностью насыщались натрием (обработка хлористым натром), диализировались до полного удаления хлоридов и отмучивались для выделения частиц меньше 0,00025 *мм* при высоте сливаемой жидкости в 8 *см* и при 21-дневном стоянии; время от времени отстоявшаяся часть почвы растиралась в мокром состоянии перед новым взмучиванием каучуковым пести-

Таблица IX

поглощающего комплекса

0,00025 *мм*) по автору

сухой почвы						
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
47,75	22,29	8,26	0,468	1,853	1,314	3,472
39,32	17,29	8,18	0,771	2,088	1,070	6,333

ком. В обоих случаях мы, значит, получали поглощающий комплекс, насыщенный натрием. Поэтому в элементарном составе натрия мы получили много, и он по количеству преобладает над всеми остальными основаниями. Кальция, наоборот, для обоих образцов мы получили сравнительно очень мало, так как в первоначальном поглощающем комплексе он являлся главным поглощенным основанием и поэтому именно он главным образом и был вытеснен натрием; в тульском черноземе поглощающий комплекс содержит больше кальция, чем в кубанском, так как последний вообще беднее кальцием и, в частности, поглощенным (в табл. XII, на стр. 315 я привожу состав поглощенных катионов тульского чернозема; на стр. 299 даю состав поглощенных катионов, вытесненных обработкой 1,0 н. раствором NaCl из другого образца кубанского чернозема, более глинистого, но вытесненных не до конца; об этом будет еще сказано ниже).

Поглощающий комплекс в исследованном образце кубанского чернозема оказался равным 35,4% от веса сухой почвы, в тульском черноземе 28,8%. Отметим, что из первоначальных почв (не насыщенных натрием) мы выделили поглощающего комплекса всего: из первой почвы 9,7%, из второй — 4,3% от веса почвы; причем механический анализ производился чрезвычайно долго, с частым растиранием остатка почвы каучуковым пестиком (аммиака не прибавлялось); все время жидкость после каждого 21-дневного отстаивания бывала слабо мутной; анализ пришлось прекратить, так и не дождавшись получения вполне прозрачного отстаивания.

В поглощающем комплексе было найдено органической части: из кубанского чернозема 3,20% от веса всего комплекса, или 1,13% от веса почвы; из Тульского чернозема соответственно 10,14 и 2,92%. Органическая часть поглощающего комплекса определялась сжиганием ее в навеске выделенного комплекса по методу Кнопа. Можно определенно утверждать, что коэффициент перевода в гумус получаемой при сжигании углекислоты не соответствует истинному составу гуматной части; он, очевидно, слишком низок для нее. Определение этой части сжиганием марганцевокислым калием по количеству израсходованного кислорода для поглощающего комплекса тульского чернозема дало значительно более высокую цифру, а именно 18,2% от веса комплекса и 5,5% от веса всей почвы.

Обращает на себя внимание большая величина гигроскопической и химически связанной воды в поглощающем комплексе обеих почв, причем у тульского чернозема обе эти величины выше, чем у кубанского, особенно химически связанная вода. Интересно эти данные сопоставить с величинами алюмосиликатной и гуматной частей этих двух поглощающих комплексов. У почвы кубанской в исследованном горизонте органический поглощающий комплекс составляет всего лишь 3,20% от общего комплекса, в верхнем же горизонте тульского чернозема его 10 с лишком процентов; очевидно, бо́льшую величину гигроскопической и химически связанной воды в поглощающем комплексе тульского чернозема надо в первую очередь отнести на более высокое содержание в нем органи-

ческих соединений, которые во всяком случае обладают значительно более высокой степенью дисперсности, нежели минеральная часть поглощающего комплекса. Возможно, что и по дисперсности алюмосиликатной части поглощающего комплекса наши две почвы неодинаковы; но для суждения об этом у нас данных нет, а в рассматриваемом отношении эта неодинаковость могла иметь лишь второстепенное значение.

Из дальнейших следствий, вытекающих из данных табл. IX, отметим низкое процентное содержание SiO_2 и высокое процентное содержание полуторных окислов в поглощающем комплексе по сравнению со всей почвой; так (по перечислению на массу сухую, безгумусную и лишенную химически связанной воды) в поглощающем почвенном комплексе кубанской почвы около 54% SiO_2 и 35% Al_2O_3+Fe_2O_3, тогда как в первоначальной почве около 67% SiO_2 и 26% полуторных окислов; для тульского чернозема имеем соответственно около 51% SiO_2 и 33% Al_2O_3+ +Fe_2O_3 (поглощающий комплекс) и около 62% SiO_2 и 17% полуторных окислов (первоначальная почва); т. е. в отношении по крайней мере всей совокупности ультрамеханических фракций справедлива та общая закономерность, которая имеет место для всех прочих механических фракций почвы: чем мельче фракция, тем меньше в ней валовое содержание кремнекислоты и тем больше содержание полуторных окислов. Обращает на себя в приведенных цифрах внимание близость содержания SiO_2, так же как и содержания полуторных окислов, в поглощающем комплексе обеих почв; в этом отношении поглощающие комплексы значительно меньше различаются, чем сами почвы.

Не буду останавливаться над выводом различных соотношений между содержанием элементов, составляющих поглощающий комплекс, это имеет смысл лишь при массовых данных; укажу только, что для обеих почв отношение молекулярного содержания SiO_2 к таковому суммы полуторных окислов в их поглощающих комплексах оказалось совершенно совпадающим, а именно оно равно 2,97. Случайное ли это совпадение или нет, сказать на основании исследования всего лишь двух черноземных почв, конечно, не представляется возможным.

Таблица X

Растворимость поглощающего комплекса в соляной кислоте (20%-ная, 1/2 часа кипячения), по автору, % от веса сухой почвы

Почва и горизонт. *см*	SiO_2, извлекаемая HCl и KOH	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
Кубанский чернозем, 90—110	41,7	16,03	8,21	0,452	1,784
Тульский чернозем, 0—20	36,8	14,01	8,10	0,775	2,020

Обращаюсь теперь к табл. X, в которой я привожу данные по действию на поглощающий комплекс обеих исследованных почв соляной кислоты при нагревании (получасовое кипение с 20%-ной соляной кис-

лотой; метод, который для почв дает почти те же результаты, что и 10%-ная солянокислая вытяжка при 10-часовом нагревании на кипящей водяной бане).

При означенном способе обработки соляная кислота извлекает из поглощающего комплекса весь кальций и магний (определение растворимости в соляной кислоте щелочей не было произведено), все железо, 72% Al_2O_3 из кубанского чернозема и 81% окиси алюминия из тульского чернозема, а 5%-ный едкий кали (при получасовом кипячении) из остатка после солянокислой вытяжки извлек 87% SiO_2 из кубанского чернозема и 94% SiO_2 из тульского чернозема. Таким образом, почвенный поглощающий комплекс почти нацело разлагается 20%-ной соляной кислотой уже при кипячении только в течение получаса, причем эта кислота извлекает целиком и тот кальций и магний, которые к обмену не способны; значит, кислота эта совершенно разрушает коллоидальные частички комплекса, извлекая из них и тот кальций и магний, которые находятся в молекулах, расположенных внутри этих частичек. Это обстоятельство дает основание предполагать, что полное извлечение алюминия соляной кислотой и кремния щелочной вытяжкой, т. е. полное разрушение поглощающего почвенного комплекса, может быть достигнуто повторной обработкой комплекса соляной кислотой.

Приведу еще свои данные исследования коллоидальной части кубанского чернозема, слоя 80—100 *см*, полученные мною в опыте, описанном в моей статье «Ультрамеханический состав почвы...» (Журн. оп. агр., т. XXII, стр. 37)[1]. 20 *г* этой почвы было частично (тремя последовательными обработками 1,0 н. хлористым натрием) насыщено натрием, а затем взмучено в большом стеклянном цилиндре с 5,4 литрами воды, высота которой равнялась 52 *см*. Цилиндр был оставлен в покое на 1 год, после чего из него были взяты пробы мутной жидкости, как описано в вышеуказанной статье, а затем вся оставшаяся в цилиндре мутная жидкость была слита сифоном и поступила в анализ, так же как и отстоявшаяся часть почвы. Количество неосевших частиц (с учетом того, что было взято из жидкости в предшествовавшем сливанию опыте) оказалось равным 45,3%, а осевших 54,7%.

Отметим, что учет неосевших частиц применявшимся в вышеназванной статье методом взятия определенных объемов из различных глубин столба мутной жидкости дал нам цифру для содержания взвешенных частиц 42,3%; если принять во внимание, что в этом случае не учитывалось количество взвеси в самом нижнем слое столба, то нужно признать, что оба метода, т. е. непосредственное взвешивание всего количества неосевших частиц и определение веса их только в определенном послойном объеме — дают почти тождественные результаты.

Данные валового анализа коллоидальной части (частицы диаметра меньше 0,13 *мкм*) осевшей части почвы (эта часть содержала всю неколлоидальную часть почвы плюс те коллоидальные частички, которые успели за время опыта осесть на дно сосуда) и первоначальной нераз-

[1] См. также стр. 115 в наст. томе.

Таблица XI

Валовой анализ кубанского чернозема, горизонт 80—100 см, по автору, % от веса сухой почвы

	SiO_2	Al_2O_3+ $+Fe_2O_3$	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
1. Почва первоначальная	63,520	24,820	1,122	1,688	1,434	0,655
2. Коллоидальная ее часть	46,070	34,700	0,206	1,922	1,701	3,170
3. Неколлоидальная ее часть	76,500	14,710	0,329	1,039	1,425	1,023
4. Вся почва, насыщенная натрием, по вычислению из 2 и 3	62,612	23,765	0,273	1,393	1,499	2,095

деленной на фракции почвы приводим в табл. XI. В этой же таблице, на основании данных анализа коллоидальной и неколлоидальной фракций и относительного содержания этих фракций в почве, приводим валовое содержание (вычисленное) различных элементов во всей почве, частично насыщенной натрием.

В почве, насыщенной натрием, найдено 0,273% CaO вместо 1,122% почвы первоначальной, т. е. из первоначальной почвы вытеснено было 0,849% CaO, что эквивалентно 0,940% Na_2O. В почве, насыщенной натрием, найдено 1,393% MgO, а в первоначальной его было 1,688, т. е. вытеснилось 0,285% MgO, что эквивалентно 0,441% Na_2O. Количество калия и в первоначальной и в насыщенной натрием почве осталось без изменения. Сумма вытесненных оснований (кальция и магния), выраженная в Na_2O, составляет 1,381%.

Сравнивая содержание натрия в первоначальной почве и после ее насыщения натрием, находим, что в действительности наша почва при трехкратной обработке 1,0 н. раствором NaCl поглотила 1,440% Na_2O, — цифра, почти совсем совпадающая с количеством Na_2O, вычисленного по потере первоначальной почвой кальция и магния (1,381%). Непосредственное определение вытесненных при этой обработке кальция и магния дало такие результаты: CaO было вытеснено 0,861%, MgO 0,273%; данные очень близкие с вычисленными по валовому анализу.

Из приведенной таблицы видно, что коллоидальная часть почвы значительно беднее кремнекислотой и значительно богаче полуторными окислами, нежели неколлоидальная часть.

3. ФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Как указывалось выше, почвенный поглощающий комплекс, как совокупность сложных в воде нерастворимых органических и минеральных соединений почвы, обладающих резко выраженной обменной способностью, наиболее правильно, по-видимому, отождествлять с коллоидально раздробленной частью почвы, т. е. с совокупностью тех почвенных части-

чек, размеры которых лежат ниже примерно 0,25 *мкм*; точной границы, само собой, быть не может, так как и для различных свойств коллоидально распыленного вещества она не одинакова, и все свойства почвы меняются с уменьшением степени раздробления не скачками, а непрерывно; указанная граница поэтому чисто условна.

Если бы все первичные коллоидальные частички во всех почвах были бы всегда самостоятельны, в раздельном состоянии, как, например, отдельные песчинки в довольно крупнозернистом песке, то все свойства почвы определялись бы количественным соотношением между отдельными механическими и ультрамеханическими фракциями почв. Но этого нет. Чем почвенная частичка меньше, чем она ближе к молекулярным размерам, тем все бо́льшую и бо́льшую роль начинают играть ее молекулярные силы притяжения, тем все больше и больше ее воздействие на другие почвенные частички. И здесь опять, по-видимому, осязательно для нас это молекулярное воздействие одной частички на другие почвенные частички начинает проявляться тогда, когда размеры этой почвенной частицы понижаются до коллоидального раздробления. Поэтому наибольшее проявление всех свойств, вытекающих из взаимного молекулярного притяжения, должно иметь место между коллоидальными частицами почвы; выделенный из почвы коллоидальный ее комплекс в этом отношении резко отличается от выделенной из почвы, например, какой-либо фракции песка; во втором случае мы имеем собрание отдельных частиц, не оказывающих друг на друга сколько-нибудь заметного влияния; в поглощающем же комплексе составляющие его отдельные частицы взаимно связаны между собою в той или другой степени в зависимости от степени их дисперсности и химического состава.

Конечно, и это свойство почвенных механических фракций — степень взаимного влияния составляющих фракцию частичек друг на друга или, обратно, степень независимости их частичек одна от другой, изменяется в этих фракциях постепенно, вместе с постепенным изменением величины их диаметра; но резко и наглядно свойства, обусловленные взаимодействием, проявляются у коллоидальной части почвы; наоборот, свойства, обусловленные отсутствием взаимодействия между частицами, мы видим во фракциях песка и, по-видимому, во фракциях крупной и средней пыли; промежуточное положение занимают фракции мелкой пыли и крупная фракция ила, с диаметром от одного до четверти микрона. Но молекулярные силы притяжения частиц коллоидальной фракции сказываются не только между частицами этой фракции, но и между частицами ее и частицами более крупных фракций. Поэтому частицы поглощающего комплекса будут находиться, с одной стороны, в более или менее тесной связи между собой, а с другой стороны, также связанными с частицами более крупных фракций.

Недавно Bouyoucos * сделал попытку экспериментально подойти к разрешению вопроса о состоянии коллоидальных веществ в почве с целью

* *G. J. Bouyoucos.* Do Colloids Exist as a Coating around the Soil Grains.— Soil Sci., v. XXI, 1926, p. 481.

именно доказать неправильность старого представления, что коллоидальные частички в почве целиком находятся в состоянии, обволакивающем более крупные механические элементы (представление, вполне естественное для того времени, когда предполагалось, что коллоидально раздробленных веществ в почве очень мало). Для этого он исследовал состояние поверхности крупных механических элементов в разных почвах и определял теплоту смачивания почвы, прошедшей через мелкое сито и оставшейся на этом сите. В результате этих исследований он пришел к выводу, что коллоидальные вещества почвы не только находятся на поверхности крупных элементов, но существуют и независимо от них.

Должно отметить, что вопрос этот настолько ясен, что применение таких косвенных методов для его уточнения, как определение теплоты смачивания, результаты которых сами по себе нуждаются в довольно сложных и недостаточно убедительных толкованиях, едва ли целесообразно.

Благодаря существованию молекулярного притяжения у коллоидальных частиц почвы почвенный поглощающий комплекс в сухой почве никогда не может быть в виде отдельных первичных коллоидальных частиц; в сухой почве нет таких самостоятельных отдельных частиц; мы будем иметь там большей или меньшей величины агрегаты коллоидальных частиц, вторичные коллоидальные частички, склеенные между собой с той или иной прочностью; затем мы будем иметь агрегаты частиц более крупных механических фракций, склеенных между собой коллоидальными частицами почвы, и будем, наконец, иметь первичные или вторичные коллоидальные частицы, с той или иной прочностью приклеившиеся к поверхности частиц крупных механических фракций. Прочность указанных связей, величина получающихся агрегатов, отношение к распыляющему действию воды — все это будет находиться в зависимости от степени дисперсности первичных частиц поглощающего комплекса; чем выше эта дисперсность, тем больше будет прочность связей, больше будет величина почвенных агрегатов, больше будет их сопротивляемость разрушающему действию воды *.

С другой стороны, ясно, что указанные свойства почвы будут зависеть и от общего количества коллоидальных веществ в почве, и от соотношения между количествами различных ультрамеханических фракций почвенного поглощающего комплекса. А так как и общее количество поглощающего комплекса, и степень дисперсности его первичных частиц, и количественное соотношение между фракциями этих частиц различной степени дисперсности в различных почвах может быть очень разнообразно, то, очевидно, физическое состояние этой части будет в различных почвах неодинаково и может варьировать в очень широких пределах даже при всех прочих одинаковых условиях.

---

* Я думаю, что нарастание всех этих свойств с увеличением степени дисперсности первичных коллоидальных частиц почв имеет свой предел, максимум; после чего, с дальнейшим приближением размеров коллоидальных частиц к размерам молекул, должно наблюдаться уже затухание означенных проявлений.

Но есть еще одно обстоятельство, благодаря которому физическое состояние коллоидального комплекса может быть неодинаковым в почвах, где его величина, степень дисперсности первичных частичек и количественное соотношение между их фракциями совершенно одинаковы. Это состав поглощенных катионов коллоидального комплекса почвы. Физические свойства почвенного поглощающего комплекса будут резко различны смотря по тому, насыщают ли его катионы щелочных металлов или катионы щелочноземельных металлов, железа и алюминия *.

В состоянии насыщения кальцием, магнием, железом или алюминием поглощающий комплекс представляет гидрофобный (лиофобный) коллоид, дающий с водой аморфную массу, почти не разбухающую и обладающую сравнительно малой влагоемкостью; тот же комплекс, насыщенный щелочными металлами (литием, натрием, аммонием и калием), в особенности же литием и натрием, должен быть уже отнесен к гидрофильным (лиофильным) коллоидам, так как он в этом состоянии в присутствии воды, как дисперсионной среды, представляет желатиноподобную массу, сильно набухающую и содержащую большие количества воды (нам приходилось иметь дело с такими почвенными образованиями, которые содержали до 1000 весовых процентов воды). Переводя коллоидальную часть почвы из состояния, насыщенного кальцием и магнием, в состояние, насыщенное, например, литием или натрием, мы ее вместе с тем переводим из аморфного в желатинообразное состояние, и обратно; процесс этот, таким образом, вполне обратимый.

Соответственно с двумя вышеуказанными возможными состояниями почвенного поглощающего комплекса и сами почвы в зависимости от того, в каком из этих состояний находится их поглощающий комплекс, будут в присутствии воды представлять малонабухшее аморфное тело или же массу, более или менее желатинообразную, в зависимости от процентного содержания в них этого комплекса.

Такая зависимость физического состояния почвенного поглощающего комплекса от рода катиона, его насыщающего, теснейшим образом связана со свертывающей силой различных катионов; как известно **, катионы, имеющие значение в почвенном растворе, по величине их свертываю-

---

* При рассмотрении этой зависимости мы будем всюду иметь в виду поглощающие комплексы и почвы, не содержащие простых солей.

** *К. Гедройц.* Действие электролитов на илистые суспензии (сообщение XXIV из Бюро по земл. и почв. Уч. ком. м-ва земл., 1915 г.).

G. Gallay. Contribution a l'étude de la coagulation de l'argile. Lausanne, 1924.

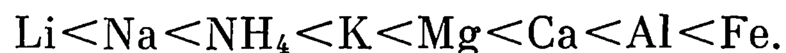
L. E. Mattson. Die Beziehungen zwischen Ausflockung, Adsorption und Teilchenladung mit besonderer Berücksichtigung der Hydroxylionen.— Kolloidchem. Beihefte, Bd. XIV, 1922, H. 9—12.

G. Wiegner. Dispersität und Bastenaustausch — Actes de la IV Conference Internat. de Pedologie, 12—19 Mai 1924. Rome, 1926, p. 390.

P. Tuorila. Ueber die rasche und langsame Koagulation von polydispersen Systemen.— Kolloidchem. Beihefte, Bd. XXII, 1926, H. 6—12.

H. Müller. Die Theorie der Koagulation polydisperser Systeme.— Koll.-Ztschr., Bd. XXXVIII, 1926, H. 1.

щей способности располагаются так:



$$Li < Na < NH_4 < K < Mg < Ca < Al < Fe.$$

Слой жидкости вокруг каждой коллоидальной почвенной частички должен, вследствие обменной реакции с водородным ионом воды, содержать гидрат окиси того катиона, которым насыщена эта частичка; таким образом, влага, содержащаяся в почвенном поглощающем комплексе, если он выделен из почвы, или в самой почве с поглощающим комплексом, будет содержать всегда растворенные электролиты, а именно гидраты окисей насыщающих катионов, которые, согласно законам коагуляции, будут действовать на коллоидальный комплекс: катион будет свертывать, анион (гидроксил) будет препятствовать свертыванию, будет поддерживать коллоиды в распыленном состоянии; а так как это стабилизирующее действие гидроксильного иона сильнее, нежели свертывающее действие лития, натрия, аммония и калия, и особенно нежели лития и натрия, и, наоборот, слабее, нежели свертывающее действие магния, кальция и т. д., то в результате мы и имеем именно то влияние состава поглощенных катионов на физическое состояние поглощающего комплекса, а через него и на самую почву, о котором говорилось выше.

Водородный ион по своему свертывающему действию стоит между щелочными и щелочноземельными катионами, приближаясь в этом отношении к кальцию; но так как его концентрация по сравнению с концентрацией кальция даже в почвах, одинаково ими насыщенных, должна быть значительно ниже, чем кальция, то распыленность коллоидальных частичек в почвах, содержащих поглощенный водород, заметно выше, чем в почвах с поглощенными кальцием и магнием, но гораздо ниже, чем с поглощенным натрием.

Таким образом, распыляющее действие воды на почвенный поглощающий комплекс находится в непосредственной зависимости от рода катионов, насыщающих почву. В связи с этим и состояние сухой почвы должно быть не одинаково при различном составе ее поглощенных катионов. В почвах, содержащих поглощенный натрий, первичные коллоидальные частички, будучи в присутствии воды в свободном состоянии и распределяясь равномерно по всей массе почвы, обладают большой клеющей способностью, проявляющейся при высыхании почвы, а потому они при высыхании склеивают почву в более или менее крупные отдельности, прочность и величина которых будет зависеть от общего количества коллоидального вещества, от степени насыщенности его натрием и от механического состава неколлоидальной части почвы.

В почвах, насыщенных кальцием, мы будем иметь противоположный случай: здесь уже во влажном состоянии нет первичных коллоидальных частиц, имеются их агрегаты, тесно связанные к тому же с частицами более крупных механических фракций; клеющая способность коллоидального комплекса поэтому здесь уже израсходована в той или другой степени; и при высыхании почвы могут образоваться уже менее крупные и менее прочные структурные отдельности по сравнению с почвами, содержащими поглощенный натрий.

4. УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА В ОТНОШЕНИИ РАЗРУШАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ВОДЫ

Это один из наиболее интересных и существенных вопросов, относящихся к поглощающему почвенному комплексу. Исходя из общих соображений о сложности состава этого комплекса и о неодинаковой устойчивости тех соединений, из которых он состоит, нужно сделать заключение, что в различных почвах уже в силу различия в содержании органической и минеральной части и различия в составе тех соединений, из которых состоит та или другая из этих частей, разрушающее действие воды будет различное.

Но если считаться с величинами первого порядка, оставляя в стороне более мелкие различия, играющие второстепенную роль, то приходится сказать, что *устойчивость коллоидальной части почвы в отношении воды в первую очередь будет зависеть от степени ее дисперсности и от физического ее состояния.*

Если почвенный поглощающий комплекс под действием воды распыляется на первичные коллоидальные частички, то доступность его разрушительному влиянию воды должна быть больше, нежели в том случае, когда вода будет действовать на агрегаты первичных частиц; поверхность взаимодействия при одном и том же общем количестве коллоидальной части в первом случае будет больше, чем во втором, и разница будет тем больше, чем крупнее коллоидальные агрегаты; конечно, внутренняя поверхность первичных коллоидальных частиц в этих агрегатах отчасти будет доступна воздействию воды; вода будет проникать в капиллярные промежутки между отдельными частицами агрегата; но, во-первых, вследствие сопротивления воздуха в узких капиллярах и вследствие их четочной формы возможно неполное заполнение этих капилляров водой; а во-вторых, что должно иметь здесь особое влияние: вода или почвенный раствор, попавшие в эти капилляры, так и будут оставаться здесь неопределенно продолжительное время, почти не обмениваясь местами с водой окружающих агрегатов и водой межагрегатных пространств; вследствие узости капиллярных ходов в этих агрегатах и выход отсюда диффузией продуктов распада должен быть очень замедлен.

Таким образом, если даже не принимать во внимание всех особых свойств воды, находящейся тут под действием колоссальных сил, и особенностей реакций в этих условиях, придется признать, что внутри каждого агрегата разрушающее и растворяющее действие воды должно быть заметно понижено по сравнению с поверхностным ее действием.

Но мы раньше видели, что физическое состояние коллоидальной части почвы находится в тесной зависимости от состава поглощенных катионов, поэтому и степень разрушающего действия воды на почвенный поглощающий комплекс обусловливается составом этих катионов. На основании же всего ранее сказанного мы должны заключить, что из по-

глощенных катионов, широко распространенных в почвах земного шара, наиболее способствует разрушающему поглощающий комплекс действию воды — поглощенный натрий; наименее же способствует этому действию, придает наибольшую устойчивость коллоидальной части — поглощенный кальций.

Поглощенный же водород, придавая поглощающему комплексу способность к более сильному распылению, нежели кальций, но к значительно меньшему распылению, нежели натрий, занимает между ними соответствующее место.

Как мы увидим ниже, при описании отдельных типов почвообразования, исследование действия воды на почвы с различным составом поглощенных катионов вполне подтверждает существование означенной зависимости.

В водах, выщелачивающих почвы с поглощенным натрием, мы находим действительно значительно больше и органических веществ, и элементов алюмосиликатного ядра, нежели в водах, выщелачивающих почвы с поглощенным водородным ионом, а из последних почв вода уносит несколько больше тех же веществ, чем из почв, насыщенных щелочноземельными катионами. Но здесь возникает такой вопрос: в почвах, например, насыщенных натрием, разлагает ли вода действительно алюмосиликатное ядро первичных коллоидальных частиц поглощающего комплекса или же она только выносит мелко распыленные ею частицы этого комплекса? Что фильтруется через почву и попадает в фильтрат — отдельные ли окислы кремния, железа и алюминия, или сам алюмосиликат в виде очень маленьких частиц?

У нас нет данных для непосредственного ответа на этот вопрос, так как аналитические приемы исследования фильтрата таковы, что, если бы он действительно содержал мелкие алюмосиликатные частички, то обработкой его кислотами для удаления органических веществ и переведения SiO_2 в нерастворимое состояние мы все равно разрушили бы эти частички до простых их составляющих окислов.

Вопрос, несомненно, заслуживающий того, чтобы над ним поработать. Если здесь имеет место простой вынос распыленного минерального поглощающего комплекса в виде частичек алюмосиликата, то придется признать, что степень дисперсности этих частичек очень велика, что они по величине своей приближаются уже к молекулярному раздроблению и, пожалуй, даже больше, чем органическая часть поглощающего комплекса, так как означенные фильтраты из нижних горизонтов почв, насыщенных натрием и не содержащих органического вещества, получаются совершенно не опалесцирующими; это с одной стороны, а с другой стороны, производящееся мною в настоящее время исследование механической поглотительной способности почв показывает, что даже очень высокодисперсная часть минерального поглощающего комплекса, но такая, которая видна в жидкости как муть, не фильтруется через более или менее толстый слой почвы среднего механического состава, а целиком задерживается им.

Во всяком случае, если в минеральном поглощающем почвенном комплексе при подходящем составе насыщающих его катионов имеется часть такой высокой дисперности; что частички ее могут передвигаться в почве на ту или другую глубину, то все-таки нет достаточных оснований отвергать, что наряду с такой деятельностью воды должно существовать и проявляться в почве ее разлагающее действие с выносом из алюмосиликатных молекул, расположенных на самой поверхности коллоидальных частиц, той или другой части содержащихся в молекуле кремнекислоты и полуторных окислов: содержание в солодях аморфной кремнекислоты, в латеритных почвах — свободных гидратов алюминия, ортштейновые образования и т. п. доказывают это.

Очень существен и интересен вопрос о степени дисперсности коллоидальных веществ в почвах вообще и в каждой данной почве в отдельности. Вопрос этот вследствие своей сложности и трудности почти еще вовсе не затронут. Он до чрезвычайности усложняется тем же обстоятельством, которое так затрудняет определение обычного механического состава почвы, а именно явлением структурности, на котором мы выше останавливались. И если трудно провести точное разграничение понятий «структурный элемент» и «механический элемент» для мелкого песка и для фракций пыли, то для ультрамеханических фракций вопрос этот гораздо более сложный. Нужно надеяться, что усовершенствование современных методов непрерывного механического анализа в связи с применением для исследования почв, насыщенных катионами, распыляющими коллоидальные агрегаты, даст возможность подойти вплотную и к этому вопросу.

В недавно опубликованной работе Д. В. Ивановым * сделана попытка подойти к вопросу о сравнительной дисперсности органических коллоидов в почвах с помощью осаждения этих коллоидов, распыленных насыщением натрием, электролитами.

По этому поводу мы укажем прежде всего, что между концентрацией осаждающего электролита и количеством неосажденных органических коллоидов существует только лишь параллелизм, никакой же даже приблизительной пропорциональности нет. Приведу для иллюстрации, например, данные, полученные в моей лаборатории Н. М. Михайловым. Естественный солонец, почти полностью насыщенный натрием, обрабатывался растворами сернокислого натра различной концентрации. В фильтрах определялась щелочность и количество гумуса титрованием марганцевокислым калием. Приведу только данные для гумуса:

Концентрация Na_2SO_4, норм.	1,0	5,0	0,1	0,05	0,025	0,01
Содержание гумуса, %	0,0819	0,0814	0,0985	0,1078	0,1645	0,2315

Далее, вопрос о применении коагуляции к решению вопроса о дисперсности органических коллоидов почвы вовсе не так прост, как это,

* *Д. В. Иванов.* Дисперсность органического вещества поглощающего комплекса почв.— Научно-агр. журнал, т. III, 1926, стр. 477.

по-видимому, представляется Д. В. Иванову. Ввиду важности изучения степени дисперсности почвенных коллоидов я остановлюсь несколько на этом методе.

Метод «фракционной коагуляции» для разделения коллоидальных частиц по их величине разработан Sven Oden'ом * и, хотя метод этот уже давно применяется в химии белковых веществ («фракционное высаливание») для разделения белков в их смеси, но впервые S. Oden доказал ультрамикроскопическими наблюдениями, но притом только для простых гидрозолей серы и серебра, а не для смесей, что чем выше дисперсность частиц золя, тем он чувствительнее к осаждающему действию электролитов, т. е. тем ниже электролитический порог коагуляции.

Но, во-первых, его данные показывают, что между этими величинами нет пропорциональности (обратной) ни по диаметру, ни по объему частиц, а лишь параллелизм:

Величина электролитического порога коагуляции золей серы различной дисперсности

Фракции, *мм*	—0,25	0,25—0,20	0,20—0,16	0,16—0,13	0,13——0,10	0,10——0,07	0,07—
Диаметр частичек, *мкм*	—	—	—	Ок. 25	Ок. 90	Ок. 140	Ок. 210
HCl	4,80	3,75	3,40	1,85	1,00	0,65	0,50
NH_4NO_3	1,02	0,75	0,67	0,46	0,32	0,25	—
$NaCl$	0,30	0,24	0,20	0,15	0,11	0,09	0,07
KCl	0,034	0,029	0,026	0,025	0,020	0,020	—
$Ba(NO_3)_2$	0,0017	0,0014	0,0012	0,0012	0,0010	0,0010	—

Во-вторых, S. Oden в своем исследовании указывает на необходимость в данном случае иметь золи, не содержащие других ионов, которые, конечно, влияют на электролитический порог; в разных почвах влияние это будет, конечно, неодинаково; особенно существенно здесь влияние водородного и гидроксильного ионов, как сильных стабилизаторов или инстабилизаторов. В почвах, насыщенных натрием, мы как раз и имеем присутствие гидроксильного иона в разном количестве для различных почв и в разном количестве для одной и той же почвы при применении осадителей различной концентрации. Вот, например, как изменяется щелочность, по данным Н. М. Михайлова, при воздействии

* *Sven Oden.* Ueber die Darstellung kolloider Schwefellösung von verschiedenen Dispersitätsgrad durch Fraktionen Koagulation.— Koll.-Ztschr., Bd. VIII, 1911, H. 189. *Sven Oden.* Fraktionierte Koagulation.— Ztschr. f. phys. Chem., Bd. 78, 1912, p. 682. *Sven Oden.* Der Kolloide Schwefel.— Nova acta reg. Soc. Sc. Upsaliensis. Ser. 4, v. 4, 1913.

растворов различной концентрации сернокислого натрия на естественный солонец:

Щелочность вытяжки из солонца, % от веса почвы

Концентрация Na_2SO_4 в норм.											
1,0		0,5		0,1		0,05		0,025		0,01	
нормальных карбонатов, в CO_3	щелочных двууглесолей, в HCO_3	нормальных карбонатов, в CO_3	щелочных двууглесолей, в HCO_3	нормальных карбонатов, в CO_3	щелочных двууглесолей, в HCO_3	нормальных карбонатов, в CO_3	щелочных двууглесолей, в HCO_3	нормальных карбонатов, в CO_3	щелочных двууглесолей, в HCO_3	нормальных карбонатов, в CO_3	щелочных двууглесолей, в HCO_3
0,0223	0,259	0,0382	0,285	0,0413	0,2928	0,0508	0,378	0,0636	0,448	0,076	0,496

Как видно из приведенных данных, можно еще поставить вопрос, чему в большей мере обязана более сильная распыленность органических коллоидов почвы, насыщенной натрием, при концентрации сернокислого натра, например, в 0,01 н., нежели при концентрации 0,1 н., непосредственно или высоте концентрации, или тому, что вследствие более низкой концентрации этой соли повысилась концентрация стабилизатора OH.

Наконец, в-третьих, необходимо иметь в виду, что величина электролитического порога зависит также от концентрации коллоидальных частиц. С этим обстоятельством всегда надо считаться при применении фракционной коагуляции для изучения сравнительной дисперсности коллоидальных веществ в почвах.

Мы думаем, что вопрос о методе фракционной коагуляции применительно к почвам находится еще в таком положении, что его надо изучать, а не применять прямо для открытия новых закономерностей.

5. ЕМКОСТЬ ПОГЛОЩЕНИЯ ПОЧВЕННОГО КОЛЛОИДАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Представляя себе физико-химическую поглотительную способность почвы как обменную реакцию катионами с одной стороны раствора, а с другой стороны солеобразных молекул органических и минеральных соединений, расположенных на поверхности твердых частиц этих соединений, мы должны прийти к заключению, что количество катионов поглощающего почвенного комплекса, способных к обмену (т. е. емкость поглощения этого комплекса), будет находиться в зависимости: 1) от химического состава соединений, входящих в поглощающий комплекс; 2) от степени дисперсности поглощающего комплекса, от его механического состава.

Какого-либо цифрового материала для развития означенных положений мы не имеем; можно сказать, что, по-видимому, емкость поглощения гуматной части поглощающего комплекса значительно выше, нежели

его минеральной части. Обусловливается это, конечно, химическим составом этой части, но влияет ли этот состав тут непосредственно (бóльшим отношением между катионной и анионной частями гуматной части, по сравнению с таким же отношением алюмосиликатного поглощающего комплекса) или посредственно тем, что благодаря своему химическому составу гуматная часть комплекса всегда имеет более высокую дисперсность, нежели алюмосиликатный поглощающий комплекс? Должно быть, сказывается и то и другое вместе.

Очень интересным является вопрос о постоянстве величины емкости поглощения данной почвы. Несомненно, являясь свойством самой подвижной части твердой, в воде нерастворимой фазы почвы, величина эта должна изменяться: в почве в естественном ее состоянии все время идут процессы созидания и разрушения, и емкость поглощения поэтому также должна изменяться; но изменения эти будут носить все-таки характер процессов очень медленных, причем скорость этих процессов, приводящих к изменению величины емкости поглощения, будет тесно связана с климатическими условиями, а значит, и с типом почвы; и само направление изменения этой емкости (повышение или понижение ее), как результат созидания и разрушения, будет в различных почвах различно; здесь надо иметь в виду чрезвычайную сложность рассматриваемого явления; достаточно указать на то, что созидательный процесс в почве может приводить и к увеличению, и к уменьшению емкости поглощения, так как возникающее новообразование может иметь различную степень дисперсности и может образовываться из частей, обладающих также различной степенью дисперсности; поэтому возникающее тело может оказаться и с большей, и с меньшей емкостью поглощения. Совершенно то же и в отношении разрушающего процесса в почве: если он ведет к полному разрушению коллоидальной частицы — емкость поглощения уменьшается; если же происходит раздробление частицы, то емкость увеличивается.

Означенные процессы совершаются в почве все время и протекают сравнительно очень медленным темпом. Но в самое последнее время появились исследования, показывающие, что емкость поглощения в почве может в очень короткий срок увеличиться очень сильно. В появившейся в 1926 г. работе Д. Л. Аскинази * констатируется сильное повышение емкости поглощения после обработки почвы растворами барита; исследованиями научного сотрудника при Кафедре почвоведения Ленинградского лесного института А. А. Роде ** (работа находится еще в рукописи) установлено, что емкость поглощения сильно повышается в подзолистых почвах под влиянием известкования.

В обеих работах констатируется, таким образом, увеличение емко-

* *Д. Л. Аскинази.* Формы кислотности и емкость поглощения почв в связи с их известкованием и фосфоритованием.— Труды Научн. ин-та по удобрениям, вып. 38, 1926.

** *А. А. Роде.* Действие углекислого кальция на почву.— Изв. Лесного ин-та, вып. 34, 1927.

сти поглощения при действии на почву сравнительно слабых (нормальный раствор гидрата окиси бария) или даже очень слабых (углекислый кальций) щелочных веществ. Постараюсь несколько подойти к выяснению этого очень интересного явления.

Если емкость поглощения увеличилась, т. е. увеличилось общее количество катионов в почве, способных к обмену, то это могло произойти или от того, что в почве возросло количество поглощающего комплекса, или от того, что существовавший в почве поглощающий комплекс увеличил свою поверхность взаимодействия с растворами. Теоретически мыслимы при обработке почвы щелочными соединениями оба эти случая.

Рассмотрим сначала вопрос о новообразовании поглощающего комплекса. В почвенном растворе всегда имеются в том или другом количестве, что будет зависеть от свойств почвы, коллоидально растворенные кремнекислота, гидраты окисей железа, алюминия, марганца и различные органические соединения; под влиянием и гидрата окиси бария, и углекислого кальция все вышеозначенные соединения при наличности, конечно, известных условий (например, достаточной для этого концентрации), могут свертываться, давая сложные комплексы между собою и поглощая соответствующие количества бария или кальция, и образовывать таким образом частички поглощающего комплекса, содержащие некоторое количество бария или кальция, способных к обмену *.

Но в почвах вообще не может быть много такого материала для образования нового поглощающего комплекса. Это может быть лишь в особых случаях. Можно указать на другое явление, которое, по-видимому, присуще всем почвам, содержащим достаточное количество коллоидального комплекса, и которое, возможно, является непосредственной причиной увеличения емкости поглощения. Я имею в виду физическое поглощение в почве.

Физического поглощения почвой кислот, кислых и нейтральных солей до сих пор с достаточной достоверностью констатировать не удается. Очевидно, если оно происходит, то сравнительно в слабой степени или же оно отрицательное, а тогда по самой сущности процесса отрицательной адсорбции констатировать его применявшимися методами очень трудно, даже при сильно выраженной способности почв к физическому поглощению. Я, между прочим, ставил такие опыты.

Почва с большим содержанием поглощающего комплекса и очень бедная органическими веществами многократно обрабатывалась в цилиндрах концентрированными растворами сернокислого или хлористого натрия и таким образом полностью насыщалась натрием, а затем в тех же цилиндрах декантацией промывалась от сульфата и хлоридов дистиллированной водой до тех пор, пока почва переставала отстаиваться. Ци-

* Основываясь на явлении Тиндаля и на измерениях электропроводности, *H. Freundlich* и *H. Cohn* (Ueber die Eigenschaften alkalischer Kieselsäuresole.— Koll-Ztrsch., Bd. XXXIV, 1926, H. 1) приходят к выводу, что прибавление к золю кремнекислоты щелочи, начиная с некоторой уже сравнительно малой концентрации ее, вызывает образование силиката.

линдры тогда были оставлены в покое и приблизительно через год подвергнуты исследованию. В это время 10 *г* первоначально взятой почвы занимали в цилиндрах объем до 80 $см^3$; почва представляла студень, содержащий до 800% прочно связанной воды. Над почвой стоял столб совершенно прозрачной воды объемом около 50 $см^3$.

Если почва способна положительно или отрицательно адсорбировать сернокислый или хлористый натрий, то в том состоянии, в каком она находилась в наших цилиндрах, явление это должно было особенно сильно проявиться. Однако анализ свободной воды и воды, связанной почвою, показал совершенно одинаковую концентрацию и хлора, и серной кислоты и в воде над почвой, и в воде находившейся в почве.

Совершенно иначе ведет себя почва в отношении свободных щелочей и щелочных солей. В том и другом случае, как известно, происходит сильное поглощение свободной щелочи без соответствующего обмена; причем поглощенная щелочь, очевидно, не связывается более или менее прочно с твердыми частичками почвы, а лишь концентрируется в воде, удерживаемой почвою, так как может быть вымыта из почвы водой продолжительным промыванием, т. е. здесь несомненно имеется тот процесс, который я назвал физической поглотительной способностью.

Так, наши исследования взаимодействия растворов $Ca(OH)_2$ и $Ba(OH)_2$ на почвы, насыщенные соответствующими основаниями (т. е. в условиях, когда обменной реакции не может быть), совершенно определенно показывают, что если брать достаточно концентрированные растворы гидрата окиси кальция или бария, то та или другая часть исчезающего из раствора гидрата задерживается почвой в виде именно свободного гидрата, часть же просто выпадает в осадок в виде углекислой соли, причем несомненно в жидкости, находящейся в самой почве, растворы $Ca(OH)_2$ и $Ba(OH)_2$ более концентрированны, нежели в жидкости над почвой.

Наши исследования действия на почву насыщенного при атмосферных условиях раствора $CaCO_3$ при продолжительном промывании почвы этим раствором показывают, кроме того, что почвенный раствор становится все более и более богатым при такой обработке свободным гидратом окиси кальция, т. е. что почва, поглощая из такого раствора часть $Ca(OH)_2$, являющегося результатом ничтожного гидролитического расщепления этой соли, при довольно продолжительном промывании почвы свежими растворами в конце концов накопляет в жидкости около почвенных частиц заметные количества свободного гидрата окиси. При этом опыте замечается очень интересное явление: почва, сначала великолепно фильтрующая $CaCO_3$, постепенно с течением времени все более и более замедляет фильтрацию и несколько разбухает.

Теперь вспомним, что в большинстве почв поглощающий комплекс не представляет собой совокупности отдельных самостоятельных друг от друга коллоидальных частиц, а те или другие агрегаты их между собой и с частицами других почвенных фракций. Является вопрос: определяем ли мы обработкой почвы раствором той или другой соли всю емкость поглощения; можем ли мы при агрегатном состоянии поглощаю-

щего комплекса вытеснить нацело все поглощенные катионы? Или иначе: вся ли поверхность коллоидальных почвенных частиц доступна при таком физическом состоянии поглощающего комплекса воздействию вытеснителей? Не имею еще никаких данных, но сам собою напрашивается отрицательный ответ на эти вопросы.

Было бы чрезвычайно желательно поближе заняться выяснением этого вопроса; пора уже более уточнить наши представления о явлениях поглощения. Те рассуждения, которые мы привели выше в отношении действия воды на поглощающий почвенный комплекс различного физического состояния, пригодны и для рассматриваемого вопроса; они приводят нас к выводу, что и емкость поглощения должна быть связана с физическим состоянием поглощающего комплекса и что все то, что содействует распыляющему действию воды, может влиять повышающе на величину этой емкости. Так должна повлиять прибавка к вытеснителям едкого натра или углекислого, так как по аналогии с нашими данными для растворов $CaCO_3$ надо заключить о накоплении в почвенном растворе в этом случае некоторого количества едкого натра.

Возможно, что так же при известных концентрациях влияют и свободные гидраты щелочноземельных металлов. Конечно, здесь может быть речь о таком влиянии лишь при известных концентрациях, так как общее направление действия этих гидратов на коллоидальные частицы как раз обратное. Но то, что катионы этих соединений свертывают сильнее, нежели действует стабилизатор OH', может и не относиться ко всем концентрациям растворов гидратов окиси щелочноземельных металлов. Необходимо еще иметь в виду, что емкость поглощения мы определяем действием на почву солевыми растворами и обычно, для ускорения вытеснения, довольно высокой концентрации, т. е. искусственно, вследствие свертывающего действия взятого электролита, вызываем понижение степени дисперсности коллоидальной части почвы, что, возможно, в свою очередь понижает величину определяемой емкости поглощения.

Во всяком случае, я считаю вполне законным поставить эти вопросы, т. е. 1) определяем ли мы обработкой почвы вытеснителями всю емкость поглощения ее, независимо от физического состояния поглощающего комплекса почвы и независимо от высоты концентрации применяющихся вытеснителей; 2) не состоит ли наблюдаемое при обработке почвы едким баритом и углекислым кальцием явление повышения емкости поглощения почвы в связи с повышением при этой обработке распыленности поглощающего комплекса с усилением распыляющего действия воды на агрегаты этого комплекса; 3) не связано ли последнее с физическим поглощением свободных гидратов из растворов означенных соединений, создающим подходящую для этого концентрацию щелочи в сфере этих агрегатов?

Как общее положение по затронутому здесь вопросу можно высказать следующее: если в данной почве не происходит изменений в величине и химическом составе поглощающего комплекса, то истинная величина емкости поглощения должна быть постоянной величиной, если

же наблюдается ее изменение, то причину этого надо искать в изменении дисперсности поглощающего комплекса в сторону распыления его агрегатов (так должно, например, влиять введение в жидкую фазу почвы гидроксильного иона, распыление почвы вследствие механической ее обработки) или, обратно, в сторону повышения его агрегатности.

Глава II. ПОЧВЕННЫЕ ПОГЛОЩЕННЫЕ КАТИОНЫ И ТИПЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Со времени появления в свет первого издания настоящей брошюры произведено много работ как по изучению химического состава поглощающего комплекса, так и по исследованию состава поглощенных катионов. Работы первой категории (мы на них достаточно останавливались в первой главе), однако, не дали еще материала для установления общих закономерностей между составом анионной части поглощающего комплекса и типом почвообразования. Исследования второй категории, с одной стороны, не дают пока еще нам оснований вносить какие-либо поправки в предложенную нами классификацию; имеется только один пункт: можно отметить существенное разногласие между моими воззрениями на состав поглощенных катионов и воззрениями некоторых других исследователей; я имею в виду вопрос о ненасыщенности почв основаниями.

Является ли причиной этой ненасыщенности присутствие в поглощающем комплексе таких почв поглощенного водорода или поглощенного алюминия? Все имеющиеся данные можно трактовать и так и этак. Одно совершенно достоверно, что по крайней мере в некоторых почвах присутствие поглощенного водорода несомненно; может быть не вся насыщенность их обусловлена именно водородом; может быть, часть ее вызвана поглощенным алюминием, но некоторая часть этой ненасыщенности обязана именно присутствию поглощенного водорода. Относительно алюминия, как поглощенного катиона, и такой частичной уверенности нет.

Это одно из соображений, заставляющих меня оставаться на моей прежней точке зрения и приписывать ненасыщенность целиком присутствию поглощенного водорода, а не алюминия. Второе соображение, приводящее меня к тому же, заключается в том, что мне легче представить себе вступление в поглощающий комплекс водорода, нежели алюминия. Но, конечно, возможности присутствия поглощенного алюминия в почвах нельзя отрицать, и потому я считаю и ту и другую точки зрения вполне законными, но только с указанной выше поправкой.

С другой стороны, исследования поглощенных катионов почвы еще не дали необходимого материала для уточнения и дальнейшего развития предложенной мною классификации. Поэтому дальнейшая часть настоящей брошюры воспроизводит почти без изменений первое ее издание; она дополнена лишь аналитическими данными по составу поглощенных катионов в различных почвенных типах.

По тем же причинам теперь еще, конечно, совершенно невозможно дать сколько-нибудь полную классификацию почв по состоянию в них поглощающего комплекса; сейчас она может базироваться лишь на составе катионной части этого комплекса, которая, однако, тоже изучена далеко еще недостаточно полно; о весьма же существенных для этой классификации других признаках, как-то: величине анионной части, ее составе и содержании в тех или других горизонтах продуктов ее распада (кремнекислоты, гидроокисей алюминия и железа, гуматных анионов) приходится заключать главным образом по косвенным соображениям.

Тем не менее, я считаю полезным поделиться теми выводами, которые можно сделать в отношении почвенной классификации из моих исследований поглощающего комплекса и которые в сущности уже опубликованы мною в различных моих работах, но в виде отдельных эпизодических включений к главным темам работ; и при таком состоянии вопроса картина получается довольно цельной и стройной; укажу между прочим, что построение почвенной классификации на основании поглощающего почвенного комплекса, как показывает мой пятилетний опыт проведения этого начала при изложении почвоведения студентам Лесного института, чрезвычайно облегчает усвоение курса.

Свойства и величина поглощающего комплекса является функцией всех почвообразователей: материнской породы, климата, органической жизни, рельефа, прошлой истории. Начнем наше рассмотрение с почв черноземной полосы.

I. ЧЕРНОЗЕМНЫЙ ТИП ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

При известном климате почвы (соответствующее сочетание метеорологических факторов, растительности и рельефа) и режиме грунтовых вод поглощающий почвенный комплекс будет вполне насыщен основаниями и в качестве таковых содержать в себе только кальций и магний; для этого означенные почвообразователи должны сочетаться таким образом, чтобы легко растворимые соли (соли натрия и калия), имевшиеся первоначально в материнской горной породе и образующиеся как продукты почвенного выветривания, возможно полностью выносились из почвенной толщи, и, вместе с тем, чтобы грунтовые воды залегали настолько глубоко, что поднятие таких солей в верхние горизонты почвы было бы невозможно; с другой стороны, водный режим почвы должен быть таков, чтобы трудно растворимые карбонаты щелочноземельных металлов по возможности сохранялись в верхних горизонтах почвы или же были бы настолько невысоко от почвенной поверхности, чтобы почвенные растворы и в верхних почвенных горизонтах, если не все время, то в известные периоды года, содержали карбонаты кальция и магния, поднятые сюда из карбонатных горизонтов.

Принимая во внимание значительно большую энергию поглощения (или энергию вытеснения) у кальция по сравнению с натрием и ка-

лием (и магнием) и бóльшую энергию поглощения (или вытеснения) у магния по сравнению с натрием и калием, легко видеть, что при указанных условиях поглощающий комплекс почвы должен содержать в числе поглощенных катионов в первую очередь кальций, во вторую магний; другим поглощенным катионам, ни щелочным, ни водородному, в нем не может быть места: они при той концентрации их в почвенном растворе, какая может иметь место при рассматриваемых здесь условиях почвообразования, не могут конкурировать с кальцием и магнием.

Таким образом, при такой комбинации почвообразователей, которую мы приняли, образующиеся почвы должны обладать поглощающим комплексом, насыщенным основаниями (не содержащим водородного иона) и притом только кальцием (главным образом) и магнием. В табл. XII привожу для иллюстрации состав поглощенных катионов в пахотном слое суглинистого чернозема.

Таблица XII

Состав поглощенных катионов суглинистого чернозема Тульской губ., по автору

Горизонт, *см*	Содержание в почве поглощенных катионов, %				Содержание в почве поглощенных катионов, *мг-экв*				Емкость поглощения, *мг-экв*	Состав погл. катионов, % от емкости			
	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na		Ca	Mg	K	Na
0—20	0,90	0,10	0,06	0	45,0	8,3	1,5	0	54,8	82,1	15,1	2,7	0

Это основное свойство этих почв — насыщенность их поглощающего комплекса, как минерального, так и органического, кальцием и магнием, обусловливает целый ряд других особенностей, отличающих подобные почвы от прочих почв; прежде всего укажу на сравнительное постоянство поглощающего комплекса в этих почвах: он отличается особой сопротивляемостью как разлагающему, так и растворяющему действию почвенных вод *; поэтому именно в этих почвах как цеолитная, так и гуматная части могут достигать наибольшей величины; отсюда же вытекает то обстоятельство, что в этих почвах не должно образовываться уплотненных иллювиальных горизонтов **: для этого коллоидальная растворимость гуматной части и распад алюмосиликатного ядра цеолитной

* Доказательство и обоснование этому см. в моей статье «Почвы, ненасыщенные основаниями... Журн. оп. агр., т. 22, 1923, стр. 1, а также в статье «Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция», Труды Носовской с.-х. оп. станции, 1926, вып. 43.

** Если уплотненные горизонты здесь встречаются, то они иного, не иллювиального происхождения; например, уплотненные горизонты в донских черноземах являются следствием воздействия на них натронных солей грунтовых вод; см. мою статью «Поглотительная способность почвы и почвенные цеолитные основания».— Журн. оп. агр., 1916, т. 17, стр. 521.

части с образованием коллоидально растворенных окисей кремния, алюминия и железа слишком ничтожны и концентрация этих веществ очень мала; кроме того, почвенный раствор здесь всегда содержит кальций — сильный свертыватель коллоидальных частиц этих продуктов распада и самого поглощающего комплекса; те и другие поэтому не могут в более или менее значительной степени вымываться из мест своего образования и существования.

Следующим, чрезвычайно существенным свойством почв с указанным выше поглощающим комплексом, является их ультрамеханический состав (т. е. механический состав илистой фракции) и особая структурность; в ультрамеханической фракции этих почв, несмотря на богатство их коллоидально раздробленным поглощающим комплексом, нет или почти нет отдельных, свободных коллоидальных частиц, последние здесь прочно связаны в агрегаты; та же причина создает в этих почвах очень прочную и в сухом и во влажном состоянии, но вместе с тем сравнительно мелкую зернистую структуру *. Во избежание недоразумений подчеркну, что здесь я имею в виду ультрамеханический состав естественной почвы, без переведения, конечно, ее в состояние, насыщенное натрием, и при получении этого состава методами механического анализа без прибавки аммиака, который вносит в данном случае совершенно нежелательный элемент распыления, но распыления по сравнению с насыщающим почву натрием лишь частично; таким образом, такая прибавка аммиака удаляет получаемые данные от естественного содержания в почве ультрамеханических фракций, а вместе с тем в значительно меньшей степени, чем предварительное полное насыщение почвы натрием, позволяет учесть общее количество коллоидальных частиц почвы и их механический состав, т. е. всю коллоидальную часть почвы, независимо от физического состояния ее в почве.

Как указывалось выше, полной разработке почвенной классификации по поглощающему комплексу в значительной степени препятствует неизученность анионной части его, как минеральной, так и органической, вследствие отсутствия необходимой методики. Параллельно с попытками разработки таковой, еще не законченными, мы в целях установления различий в почвообразовательном процессе подзолистых почв и солодей ** исследовали отношение различных почв к обработке щелочью.

Полученные результаты дают интересный материал и в классификационном отношении. В частности, для рассматриваемых здесь почв, для

---

* Обоснование и объяснение этого можно найти в моих работах: «Ультрамеханический состав почвы...», Журн. оп. агр., т. 22, 1923, стр. 27; «Почва, как культурная среда...». Труды Носовской с.-х. оп. станции, 1926, вып. 42; «К вопросу о почвенной структуре и сельскохозяйственном ее значении».— Изв. Гос. Ин-та оп. агр., т. IV, 1926, № 3. (См. также стр. 108 и 184 в наст. томе).

** См. мой доклад на 3-ем Всероссийском съезде почвоведов в Москве, 1921 г. «Солонцеватость почвы как причина быстрой ее деградации», а также мою статью «Осолодение почв». Труды Носовской с.-х. оп. станции, 1926, вып. 44. (См. также стр. 130 в наст. томе).

того сочетания почвообразователей, при котором почвенный раствор так беден уже катионами натрия (и калия) и настолько богат еще катионами кальция (и магния), что среди поглощенных ионов коллоидального комплекса не могут быть ни натрий, ни водород, щелочь извлекает (в условиях нашей обработки) и кремнекислоты, и окиси алюминия из всех почвенных горизонтов сравнительно очень мало (меньше 1% от веса почвы); если условно (только для того, чтобы иметь исходную точку) принять состав анионной части алюмосиликатного поглощающего комплекса за Al_2O_3 $2SiO_2$, то соотношение между извлекаемыми щелочью из рассматриваемых здесь почв кремнекислоты и окиси алюминия обычно показывает в верхних горизонтах на небольшой избыток кремнекислоты (например, на 0,5% извлекаемого глинозема приходится 0,8% извлекаемой кремнекислоты; вместо 0,6%, требующейся по формуле); с углублением вниз картина изменяется мало, с общей тенденцией понижения количества извлекаемой кремнекислоты, примерно при том же количестве извлекаемого глинозема, так что получается более близкое, а иногда и полное совпадение с вышеприведенной формулой.

Для примера приведу полученные мною данные анализа щелочной вытяжки (5% KOH) для чернозема Полтавской губ. (бывшее имение «Балясное»), в процентах от веса почвы:

Горизонт	Глубина, *см*	SiO_2	Al_2O_3 ·	$2SiO_2$· ·Al_2O_3	Остается избыток	
					SiO_2	Al_2O_3
A	0—20	0,534	0,320	0,696	0,158	—
B	45—70	0,440	0,344	0,748	0,036	—
C	120—150	0,424	0,376	0,784	—	0,016

Из других косвенных указаний для сравнительного изучения анионной части алюмосиликатов поглощающего комплекса в почвах различных типов остановимся на количествах кремнекислоты и глинозема, извлекаемых из почв при обработке последних слабой соляной кислотой (0,05 н.) до полного замещения водородом имеющихся в почве поглощенных оснований; получающиеся здесь результаты, собственно говоря отношение $SiO_2 : Al_2O_3$, неодинаковы для почв различных типов. Для тех почв, о которых сейчас идет речь, т. е. для почв, насыщенных основаниями, а из последних — 0,05 н. содержащих в поглощающем комплексе только кальций и магний, соляная кислота извлекает немного и кремнекислоты и глинозема, причем глинозема извлекается примерно в два раза больше, нежели кремнекислоты (около 0,5% глинозема и около 0,25% кремнекислоты от веса почвы).

Почвы с поглощающим комплексом описанного выше характера являются главным фоном почвенного покрова нашей черноземной зоны, зоны умеренного увлажнения; в этой зоне преобладающий климат почвы (а также непосредственное влияние травянистой растительности) таков, что поглощающий комплекс почвы (как минеральный, так и орга-

нический) должен обладать именно вышеописанными свойствами. Мы имеем черноземный тип почвы. Само собой разумеется, что не все почвы черноземной зоны содержат поглощающий комплекс указанного характера. Находясь в непосредственной зависимости от климата почвы, он должен постепенно менять свой характер с постепенным изменением климата почвы в сторону большей или меньшей засушливости.

Методика определения поглощенных катионов, как и вообще весь почвенный химический анализ, слишком груба для разрешения многих чрезвычайно существенных вопросов о почвенном поглощающем комплексе, и, в частности, вопросов, связанных с классификацией черноземных почв. Укажу, например, на связанное с отсутствием метода более или менее точного определения поглощенных катионов в карбонатных почвах полное наше незнание емкости поглощения и соотношения между поглощенным кальцием и поглощенным магнием во вскипающих горизонтах черноземных почв и, в частности, в нашем южнорусском лёссе. Далее остается совершенно невыясненным вопрос о том, имеются ли и где такие черноземные почвы, теоретически мыслимые, которые были бы вовсе не солонцеватыми, т. е. не содержали бы в поглощающем комплексе вовсе поглощенного натрия; как ведут себя в этом отношении различные горизонты чернозема по мере углубления их положения в почве? Какое, например, положение должен занять в классификации состав поглощенных катионов [1] (табл. XIII)?

Таблица XIII

Процентный состав поглощенных катионов южного чернозема (Донская обл., из коллекции Л. И. Прасолова), вытесняемых однократной обработкой 1,0 н. NH_4Cl

Горизонт	Глубина, *см*	Ca	Mg	K	Na
A_1	0—6	0,543	0,123	0,059	0,007
B_1	20—28	0,611	0,153	0,024	0,004
C_1	75—83	0,396	0,345	0,021	0,157
C_2	175—183	0,0	0,348	0,047	0,254

[1] Вполне точных методов определения обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в почвах, содержащих карбонаты этих катионов, нет и в настоящее время. Черноземы, не содержащие в себе обменного натрия, в природе существуют и имеют широкое распространение — таковы почти все черноземы, обладающие водным режимом периодически промывного типа. В южных черноземах, подобных тому, который приведен в табл. XIII, обладающих водным режимом непромывного типа, на нижней границе почвенного прослоя очень часто имеется солевой горизонт, содержащий не только гипс, но и сульфат и хлорид Na^+. Эти соли, периодически проникая в почвенный профиль, и поддерживают его солонцеватость.— *Прим. ред.*

Процентное содержание в том же разрезе кальция и магния, вытесненных нацело

Горизонт	Глубина, *см*	Ca	Mg	Горизонт	Глубина, *см*	Ca	Mg
A_1	0—6	0,814	0,162	C_1	75—83	1,171	0,447
A_2	6—12	0,832	0,170	C_2	105—113	1,003	0,442
B_1	20—28	1,294	0,178	C_3	175—183	0,931	0,435
B_2	45—53	1,271	0,312				

С другой стороны, почвы черноземного типа почвообразования расположены не только в условиях климата нашей черноземной зоны, но и в других климатических зонах, там именно, где благодаря какимлибо местным причинам имеются условия, необходимые для того, чтобы почвенный поглощающий комплекс был, во-первых, насыщен основаниями и притом, во-вторых, только кальцием и магнием; такими условиями, как увидим ниже, являются: в пустынно-степной зоне содержание в материнских породах гипса, а в подзолистой зоне содержание в материнских породах карбонатов кальция и магния. При этих условиях в первой из означенных зон не могут возникать присущие ей солонцеватые почвы, так как кальций гипса препятствует вхождению натрия в поглощающий комплекс; во второй из указанных зон, в подзолистой зоне, на карбонатных породах мы также будем иметь черноземный тип почвообразования, так как кальций углекислого кальция предохраняет почву от вступления в ее поглощающий комплекс водородного иона, т. е. от процесса оподзоливания.

II. СОЛОНЦОВЫЙ ТИП ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Уменьшение степени увлажнения почвы, понижая вымываемость легко растворимых солей и щелочноземельных карбонатов, постепенно повышает горизонт их скоплений в грунтах и почвенных слоях; постепенно, с увеличением засушливости климата почвы, увеличивается количество в почве как тех, так и других солей; но так как предельная растворимость щелочноземельных карбонатов (концентрация насыщенных их растворов в почвенной влаге при наивысшем возможном содержании в ней углекислоты) сравнительно очень мала, то, несмотря на высокую энергию поглощения (вытеснения) почвою кальция, должен наступить при движении на юго-восток от почв, насыщенных только кальцием и магнием, такой момент, когда катионы значительно более растворимых солей щелочных металлов могут уже конкурировать с катионами кальция и магния за свое место в поглощающем комплексе почвы. Когда степень увлажнения почвы достигает такой величины, мы вступаем в область, в которой почвы в своем поглощающем комплексе могут содержать уже кроме кальция и магния и щелочные катионы.

То же явление — появление щелочных катионов в поглощающем почвенном комплексе — может обусловливаться при известной степени засушливости климата и обратной причиной, а именно тем, что в том или другом пониженном месте (в котловине, в западине) создаются условия временного избыточного (по сравнению с окружающим пространством) увлажнения; в этом случае может получиться такая концентрация щелочных катионов в почвенном растворе, при которой они смогут вступать в поглощающий комплекс почвы, тогда как в почвах, окружающих такое место, их или не будет вовсе, или же содержание их будет заметно ниже. Такие благоприятные условия для вступления щелочных катионов в поглощающий почвенный комплекс пониженных мест могут сложиться как вследствие того, что стекающие с более повышенных мест воды будут приносить сюда продукты выветривания почвы этих мест, что при достаточно сильном испарении может вызвать необходимое для вступления щелочных катионов в поглощающий комплекс повышение их концентрации, так и вследствие того, что скопляющаяся здесь вода будет обусловливать более глубокое промачивание почвы и вызывать при высыхании капиллярное поднятие солей из нижних подпочвенных горизонтов.

Какие же из щелочных катионов могут встречаться в поглощающем комплексе этих почв? Вопрос этот очень существенный, но до сих пор он не может считаться разрешенным. Мы знаем, что натрий несомненно встречается как поглощенный катион во всех натриевых солончаковых почвах и во всех солонцеватых почвах, но имеется ли там поглощенный калий — вопрос экспериментально не разрешенный; а между тем от разрешения его находится в зависимости другой очень важный вопрос, вопрос о роли солей щелочных металлов, *как продуктов почвообразования* в засолении почв и образовании солонцеватых почв.

Вопрос об участии карбонатов кальция и магния, являющихся продуктами почвообразования, в накоплении в почвенных горизонтах этих солей решается положительно без особых натяжек, так как соли эти очень трудно растворимы; относительно солей натрия и калия вопрос так просто не может быть окончательно разрешен ввиду большой их растворимости; натрий в этом отношении указаний дать не может, потому что хотя участие его в поглощающем комплексе почв засушливых районов и участие его солей в засоленных почвах несомненно, но оно всегда может быть отнесено за счет засоленности в настоящее время или в прошедшие времена *материнской* породы хлористым и сернокислым натром. Другое дело, если бы было доказано, что и калий наряду с натрием входит в поглощающий комплекс засушливых почв; тогда можно было бы утверждать, что появление его здесь обязано именно калийным солям как продуктам почвообразования, и возможность засоления почв (сейчас или бывшего в прошлые времена) солями щелочных металлов как продуктов почвообразования была бы непосредственно доказана.

Тогда пришлось бы говорить не только о соде в почвах, но и о поташе; подойти к разрешению поставленной задачи разделением щелочности почвенных водных вытяжек на щелочность от соды и от поташа довольно трудно; гораздо проще произвести в солонцеватых почвах в широком масштабе исследование содержания поглощенных щелочных металлов, с разделением определяемых щелочей на натрий и калий, а также исследовать содержание калия в засоленных грунтовых водах пустынно-степной зоны.

Вследствие больших затруднений в последние годы для такого разделения, нами оно проделано для очень немногих почвенных образцов; в них мы не нашли ясного ответа на наш вопрос; необходимо эти исследования значительно расширить.

Таким образом, известное сочетание климатических условий и рельефа вызывает изменение в составе поглощенных катионов поглощающего комплекса, изменение, налагающее совершенно особый отпечаток на почву; в этом комплексе появляется поглощенный натрий и в общем чем засушливее климат почвы, тем количество этого катиона будет больше по сравнению с количествами поглощенных кальция и магния; исследование показывает, что можно встретить почвы, в которых натрий является почти единственным поглощенным основанием, а кальций и магний почти вовсе отсутствуют. Прежде чем перейти к рассмотрению свойств поглощающего комплекса, содержащего поглощенный натрий, и свойств почв, содержащих таковой комплекс, укажем, что имеются обстоятельства, усложняющие вопрос о почвенном покрове засушливых областей.

Во-первых, в числе солей кальция (и магния), засоляющих почвы, мы имеем не только трудно растворимый углекислый кальций, но и значительно более растворимый сернокислый кальций (и магний); гипс является довольно распространенной солью засушливых областей. Если для конкуренции с кальцием и магнием в виде углекислых солей за место в поглощающем комплексе концентрация иона натрия в почвенном растворе может быть сравнительно низкой, то для конкуренции с кальцием гипса дело обстоит иначе.

Борьба натрия с кальцием углекислого кальция, каково бы ни было количество последнего в почве, за место в поглощающем комплексе может быть успешной уже при сравнительно низкой концентрации солей натрия в почвенном растворе; не то в случае кальция в виде сернокислого; можно считать, что в насыщенном растворе при 10%-ной влажности на 100 *г* почвы приходится 0,021 *г* сернокислого кальция (при 30° С), эквивалентное количество хлористого натрия будет 0,018 *г*, а хлора — 0,011 *г*, в силу малой энергии поглощения натрия по сравнению с энергией поглощения кальция натрий поглощается почвою из растворов эквивалентных количеств ионов кальция и натрия в очень слабой степени, так что в присутствии в почве гипса в твердой фазе, даже при содержании в почве 0,018% хлористого натра, иона натрия в поглощающем комплексе может содержаться очень мало.

Во-вторых, особые свойства поглощающего комплекса, содержащего поглощенный натрий, и совершенно своеобразный облик и характер, получаемый почвой, содержащей такого состава поглощающий комплекс, затушевываются, исчезают в том случае, когда почвенный раствор содержит растворимые соли выше известной концентрации. На этом вопросе я уже останавливался достаточно в ранее опубликованных работах, поэтому укажу здесь только на общую причину этого явления.

Как мною доказано, все особые свойства комплекса, содержащего поглощенный натрий, так резко отличающие его от того же комплекса, содержащего только кальций и магний, вызываются тем обстоятельством, что вторичные частички (агрегаты) поглощающего комплекса, содержащего кальций и магний, под влиянием вступления туда натрия распыляются; *поглощенный натрий повышает дисперсность поглощающего комплекса почвы*; почва, содержащая таковой, «более коллоидальна», нежели почва, содержащая только поглощенные кальций и магний; соли почвенного раствора, свертывая почвенные частички, действуют обратно поглощенному натрию, и когда концентрация их выше некоторой величины, то распыляющее действие поглощенного натрия исчезает.

Если, заимствуя термин у почвоведов-морфологов, назвать те свойства почвы, которые проявляются в ней вследствие присутствия в ее поглощающем комплексе натрия, солонцеватостью * почвы, то степень солонцеватости почвы будет зависеть от трех величин: 1) от величины поглощающего комплекса почвы; 2) от соотношения между количествами в нем, с одной стороны, поглощенного натрия и, с другой стороны, поглощенных кальция и магния **; 3) от концентрации (и состава) солей в почвенном растворе. Количество поглощенного натрия в почве зависит и от концентрации солей натрия в почвенном растворе, и от периодичности воздействия на почву этого солевого раствора, так как предел вступлению натрия из раствора в поглощающий комплекс почвы на место кальция и магния кладется не только концентрацией его в растворе, но и концентрацией одного из продуктов обмена — образующейся соли кальция; поэтому можно получить один и тот же результат (одно и то же количество натрия в поглощающем комплексе данной почвы), действуя на почву раствором натриевой соли высокой концентрации или действуя раствором низкой концентрации, но многократно, с удалением продуктов обмена после каждой обработки.

Содержание легко растворимых солей в почве изменчиво, в зависимости от постоянно изменяющихся условий увлажнения, как в течение

---

* А такое заимствование вполне законно, потому что как раз то, вследствие чего почвовед-морфолог относит почву к солонцеватым, является следствием присутствия натрия в ее поглощающем комплексе.

** При всех прочих совершенно одинаковых условиях почва будет тем «солонцеватее», чем больше в ее поглощающем комплексе содержится поглощенного натрия; но при этом надо иметь в виду, что при полном отсутствии в такой почве растворимых солей уже ничтожное содержание поглощенного натрия может проявиться совершенно ясно на всех свойствах такой почвы.

года, так и из года в год, поэтому в природе, по всей вероятности, чаще имеет место второй случай, т. е. солонцеватые почвы разной степени содержания поглощенного натрия, образовавшиеся вследствие периодического осолонения их солями натрия, причем и здесь степень солонцеватости их в каждый данный момент будет зависеть от концентрации имеющихся в почвенном растворе солей, т. е. также будет периодически изменяться как в течение года, так и из года в год *.

Таблица XIV

Состав поглощенных катионов в солонце Челябинского у. Анализ принадлежит Е. Н. Ивановой

Горизонты, *см*	Содержание в почве поглощенных катионов, %			Содержание в почве поглощенных катионов, *мг-экв*			Емкость поглощения, *мг-экв*	Состав погл. катионов, % от емкости		
	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na		Ca	Mg	Na
0—5	0,5400	0,2432	0,0872	27,0	20,27	3,79	51,06	52,9	39,7	7,4
5—10	0,4550	0,1994	0,0997	22,75	16,72	4,33	43,70	51,1	38,0	9,9
10—24	0,2110	0,3843	0,2877	10,55	32,03	12,51	55,09	19,2	58,1	22,7
24—27	0,2770	0,4778	0,3573	13,85	39,82	15,54	69,21	20,0	57,5	22,5
40—45	—	—	0,3714	—	—	16,15	34,64	—	—	—
60—65	—	—	0,3014	—	—	13,10	29,95	—	—	—
105—110	—	—	0,1586	—	—	6,90	42,66	—	—	—

В табл. XIV приводим содержание поглощенных катионов в солонце Челябинского уезда (анализ Е. Н. Ивановой, произведенный в Почвенной лаборатории Лесного института), а в табл. XV и XVI то же для американских почв по исследованию W. P. Kelley и S. M. Brown; первая из этих таблиц заключает данные для сильно солонцеватых почв, вторая — для средне солонцеватых, что определенно следует и из соотношения между количеством поглощенного натрия, с одной стороны, и количествами поглощенных Ca и Mg, с другой стороны. В числе приведен-

---

* Нужно иметь в виду, что солонцеватые горизонты почвы очень медленно подымают воду, поэтому если почва сильно солонцеватая, а нижележащие почвенные воды слабо засолены, то превращение солонцеватой почвы снова в солончаковую очень затруднено и требует продожительного времени. Иное дело, если эти воды очень богаты растворимыми солями; тогда капиллярное поднятие их в солонцеватый горизонт может происходить быстро. Так, например, производящиеся в настоящее время в нашей лаборатории исследования (еще не законченные) Л. А. Грунвальдт-Фроловой над поднятием растворов в трубках с солонцеватым карбонатным горизонтом солонца Шипова леса показывают, что чистая вода капиллярно поднялась такою почвою в течение 1,5 месяца всего лишь на 7,5 *см*, тогда как растворы, например, хлористого бария на ту же высоту были подняты, в зависимости от их концентрации, через следующие промежутки времени: 1,0 н. около 2 часов; 0,1 н.— 9 часов; 0,01 н.— около 22 дней.

Состав поглощенных катионов сильно солонцеватых почв различных ды, Юты,

Откуда взята почва	Горизонты, *дм*	В % от веса почвы				В *мг-экв*			
		Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na
1. Fresno, Calf.	0—12	0	0	0,024	0,082	0	0	0,61	3,56
2. Salt Lake, Utah	0—12	0	0	0,143	0,135	0	0	3,67	5,87
3. Fallon, Nev.	0—6	0	0	0,031	0,563	0	0	0,79	24,48
4. Tuscan, Ariz.	0—6	0	0	0,072	0,174	0	0	1,85	7,57
5. San Jacinto, Calf.	0—12	0	0	0,084	0,473	0	0	2,15	20,57
6. » »	12—24	0	0	0,052	0,842	0	0	1,33	36,61
7. Davis, Calf.	0—12	0,079	0,054	0,091	0,495	3,95	4,50	2,33	21,09
8. » »	12—24	0,053	0,078	0,072	0,472	2,65	6.50	1,85	20,52
9. » »	24—36	0,069	0,113	0,056	0,364	3,45	9,42	1,44	15,83
10. Los Alamitos Calf.	0—6	0	0	0,060	0,118	0	0	1,54	5,13
11. Logan, Utah	11—15	0	0	0,331	0,289	0	0	8,49	12,57
12. Los Alamitos Calf.	0—6	0,024	0	0,089	0,166	1,20	0	2,28	7,22
13. Chino, Calf.	12—24	0,043	0,055	0,173	0,257	2,15	4.58	4,44	11,17
14. » »	24—36	0,050	0,039	0,135	0.215	2,50	3.25	3,46	9,35

* *W. P. Kelley and S. M. Brown.* Base Exchange in Relation to Alkali Soils. —Soil Sci., v. XX,

Состав поглощенных катионов в среднесолонцеватых почвах различных мест шта W. P. Kelly and

Откуда взята почва	Горизонты, *дм*	В % от веса почвы				В *мг-экв*			
		Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na
1. Chino, Cal.	0—12	0,186	0,080	0,142	0,148	9,30	6,67	3,64	6,43
2. Arlington, Cal.	0—12	0,158	0,069	0.057	0,094	7,90	5,75	1,46	4,09
3. Caldwell, Idaho	0—12	0,178	0,062	0 060	0,153	8.90	5,17	1,54	6,65
4. Caldwell, Idaho	0—12	0,261	0,098	0.071	0,150	13,05	8,17	1,82	6,52
5. Los Alamitos, Cal.	0—6	0,172	0,000	0,103	0,124	8.60	0,00	2,64	5,39

* *W. P. Kelley and S. M. Brown.* Base Exchange in Relation to Alkali Soils.—Soil Sci., v. XX, 1925,

Таблица XV

мест Калифорнии, Аризоны, Невапо W. P. Kelley and S. M. Brown *

Емкость поглощения, *мг-экв*	Содержание поглощенных катионов, % от емкости поглощения			
	Ca	Mg	K	Na
4,17	0	0	14,63	85,37
9,54	0	0	38,47	61,53
25,27	0	0	3,13	96,87
9,42	0	0	19,64	80,36
22,72	0	0	9,46	90,54
37,94	0	0	3,51	96,49
31,87	12,39	14,12	7,31	66,18
31,52	8,41	20,62	5,87	65,10
30,14	11,45	31,25	4,78	52,52
6,67	0	0	23,09	76,91
21,06	0	0	40,31	59,69
10,70	11,22	0	21,31	67,47
22,34	9,62	20,50	19,87	50,00
18,56	13,47	17,52	18,64	50,38

1925, p. 484.

Таблица XVI

тов Калифорнии и Айдахо, по S. M. Brown *

Емкость поглощения, *мг-экв*	Содержание поглощенных катионов, % от емкости поглощения			
	Ca	Mg	K	Na
26,04	35,71	25,61	13,98	24,69
19,20	41,15	29,95	7,60	21,30
22,26	39,98	23,23	6,92	29,87
29,56	44,15	27,64	6,16	22,06
16,63	51,72	0,00	15,87	32,41

p. 485.

ных почв, судя по данным анализа, несомненно, имеются и осолодевшие солонцы.

Во всяком случае, в природе в достаточно засушливом климате, в зависимости от макро- и микрорельефа, свойств материнской породы, состояния грунтовых вод и времени исследования, можно встретить все степени проявления солонцеватости при одной и той же величине поглощающего комплекса и при одном и том же процентном содержании в последнем натрия, параллельно с концентрацией солей в почвенном растворе; начиная от той предельной концентрации, при которой солонцеватость уже не может проявляться, и выше — это почвы солончаковые разной интенсивности засоления, и начиная от той же предельной концентрации и ниже — это почвы солонцеватые с различной интенсивностью солонцеватости; при полном или почти полном рассолении мы будем иметь наиболее интенсивно выраженную солонцеватость данной почвы; по мере же приближения засоленности ее к той предельной, о которой речь была выше, солонцеватость постепенно затухает и в пределе совершенно исчезает — имеем опять солончаковую почву.

Первоисточником поглощенного натрия в почве могут быть, конечно, любые соли натрия; в природе, по-видимому, таковыми являются хлористый и сернокислый натр; само собою разумеется, что не исключена возможность появления в почве поглощенного натрия под влиянием воздействия на нее соды, если в почву вместе с просачивающимися водами попадает таковая из мест ее образования; принципиального различия в этих двух случаях нет; только при воздействии соды на почву надо иметь в виду следующие два момента: реагируя с поглощающим почвенным комплексом,

она дает второй продукт взаимообмена, в противоположность хлористому и сернокислому натрию, очень трудно растворимый углекислый кальций (магний), а кроме того, концентрация соды в просачивающихся водах вообще должна быть очень низкой; поэтому сода в этих условиях до известного насыщения почвы натрием «исчезает» очень полно.

Каким бы способом ни появлялся в почве поглощенный натрий, когда источником его является хлористый и сернокислый натрий, вследствие ли многократного периодического осоления почвы этими солями, или вследствие однократного появления (или первоначального их содержания в материнской породе) в почве этих солей, во всяком случае для проявления свойств поглощающего комплекса, содержащего поглощенный натрий, т. е. для проявлений солонцеватости, необходимо рассоление почвы в той или другой степени; *стадия солончаковой почвы в этом случае обязательно предшествует стадии солонцеватой почвы.* Когда же источником поглощенного натрия является сода, для возникновения солонцеватой почвы стадия солончаковой почвы, конечно, не обязательна *.

Обращаемся теперь к вопросу о тех свойствах, какие приобретает поглощающий почвенный комплекс, а вместе с ним и сама почва, под влиянием присутствия в нем поглощенного натрия. На этом вопросе нам приходилось останавливаться много раз и, между прочим, в статьях, помещенных в 1-й части XXII т. «Журнала опытной агрономии», а также в моей брошюре «Почва как культурная среда...» [1], а потому здесь мы только кратко перечислим эти свойства.

Основное действие поглощенного натрия на поглощающий комплекс почв, которое уже в свою очередь обусловливает все остальные свойства такого комплекса, состоит в распыляющем действии этого катиона, в том, что вследствие вступления его в этот комплекс последний приобретает способность сильно повышать степень дисперсности своих частиц; под влиянием вступившего в поглощающий комплекс натрия комплекс этот, а вместе с ним и сама почва, становятся значительно более «коллоидальными», нежели в том случае, когда поглощенными основаниями являются только кальций и магний; у почвы появляется сильная клеющая способность, почему почва в сухом состоянии приобретает в зависимости от степени солонцеватости более или менее крупную и очень прочную структуру; но свертывание этого коллоидально раздробленного поглощающего комплекса при высыхании почвы представляет процесс обратимый, и потому увлажненная почва теряет свою структуру, так как поглощающий комплекс под действием воды снова распыляется до

---

* В какой мере может быть распространен в природе этот способ возникновения поглощенного натрия (воздействием соды на почву), трудно, конечно, сказать при полном отсутствии данных; одно можно утверждать, что этот источник поглощенного натрия по сравнению с хлористым и сернокислым натром играет лишь подчиненную роль.

[1] См. стр. 184 в настоящем томе.

прежней степени дисперсности; почва в влажном состоянии обладает вязкостью и клейкостью. Тем же обусловливается повышенная водоудерживающая сила, набухаемость, слабая водопроницаемость, медленное поднятие воды и т. д.

Такое действие поглощенного натрия вызывается тем, что почвенный раствор в этом случае содержит некоторое количество гидроксильного иона, стабилизирующего распыленность поглощающего комплекса, а катионом, отвечающим этому аниону, в данном случае является натрий, свертывающее действие которого значительно ниже стабилизирующего действия гидроксила. Приписывать эти свойства солонцеватых почв соде неправильно; сода в почве сама является следствием присутствия в почве поглощенного натрия; оба эти явления (солонцеватость и присутствие соды) — явления сопутствующие, вызываемые одной и той же причиной; сода, наоборот, как и всякий электролит, свертывает, и если бы возможно было поставить почву в такие условия, чтобы образующееся очень небольшое количество в почвенном растворе гидрата окиси натрия не переходило частично в соду, и сода не возникала бы там другим путем (реакцией обмена с углекислым кальцием), то коллоидальность почвы только бы повысилась.

Подтверждение этому мы видим и в природе — солонцеватые горизонты, вовсе не содержащие углекислого кальция (столбчатые горизонты), при одних и тех же прочих условиях более «коллоидальны», нежели при содержании даже малых количеств углекислого кальция (подстолбчатые горизонты), а в первом случае соды значительно меньше, чем во втором; эту меньшую коллоидальность нельзя объяснить присутствием углекислого кальция; он в твердом состоянии понизить коллоидальность при малом его количестве (например, 1%) не может; в растворе же его в этом случае чрезвычайно мало, так как присутствующая сода очень сильно понижает его и без того малую растворимость.

Следующее свойство почв, содержащих натрий в их поглощающем комплексе, свойство, имеющее большое сельскохозяйственное значение, это присутствие в их почвенном растворе соды, которую, в противоположность другим легкорастворимым солям, нет возможности вымыть из почвы, пока в поглощающем комплексе остается еще поглощенный натрий; этот натрий представляет источник катиона соды; если сода попала в почву как таковая со стороны, например, поднялась с грунтовыми водами или вследствие бокового подтока воды, то она и в этом случае в первую очередь является источником поглощенного натрия, и после прекращения притока ее в почву источником катиона для образующейся в почве соды опять-таки будет поглощенный натрий.

Указывается еще на один источник соды в почве (К. Д. Глинка), который, однако, нужно рассматривать также в сущности как источник поглощенного натрия,— это разложение органических веществ с образованием карбоната из содержащегося в них натрия. Но этот источник поглощенного натрия играет в природе во всяком случае ничтожную роль по сравнению с ролью в этом явлении таких распространенных

натриевых солей, какими являются хлориды и сульфаты *. Таким образом, источником соды в почве является поглощенный натрий почвенного поглощающего комплекса. Приток соды в почву со стороны лишь тогда может быть серьезным источником соды в этой почве, когда поглощающий комплекс ее уже насыщен натрием. *Главный же источник поглощенного натрия — хлористый и сернокислый натрий, углекислый же натрий может иметь* лишь подчиненное, чисто местное значение.

В почвах, поглощающие комплексы которых содержат поглощенный натрий, сода может образоваться как продукт реакции двойного обмена с катионами щелочноземельных карбонатов или, в отсутствие таковых, с водородным ионом почвенной влаги; и тому и другому процессу, очевидно, способствует присутствие в почвенном растворе углекислоты. В зависимости от того, чем вытесняется поглощенный натрий из солонцеватой почвы, щелочноземельными ли металлами или водородным ионом, т. е. в зависимости от того, содержит ли солонцеватая почва (или солонцеватый горизонт) щелочноземельные карбонаты или нет (а также от того, поднимаются ли последние из нижних горизонтов с водами в эти горизонты), результат дальнейшего почвообразовательного процесса (с того момента, когда почва, рассолившись, превратилась в солонцеватую), характер и свойства возникающего нового почвенного образования будут резко различны.

Для объяснения такого различия нам необходимо остановиться еще на одном свойстве поглощающего комплекса, содержащего поглощенный натрий, резко отличающем его от комплексов, насыщенных щелочноземельными металлами, и обусловленном также его высокой степенью дисперсности. А именно, благодаря этой повышенной распыленности *вода действует на комплекс, содержащий натрий, гораздо интенсивнее, нежели на комплекс, насыщенный щелочноземельными металлами; поглощающий комплекс этих почв отличается большой неустойчивостью;* гуматная часть его настолько распыляется в воде, что получаются растворы, стоящие на границе коллоидальных и молекулярных, а алюмосиликатная часть подвергается усиленному разложению, с энергичным распадом алюмосиликатного ядра на составляющие его окислы.

В подтверждение громадного различия в растворяющем и разлагающем действии воды на почвенный поглощающий комплекс при содержании в нем только поглощенных кальция и магния приведу несколько данных из моих исследований. Опыты велись с пахотным горизонтом суглинистого чернозема, поглощающий комплекс которого в естественном состоя-

* Если бы в действительности образование соды в почве этим путем играло заметную роль в природе, то особо сильного накопления соды надо было бы ожидать в почвах, засоленных хлоридами и сульфатами натрия, так как именно в этих случаях растения должны быть особенно богаты натрием; а между тем мы видим как раз обратное: в общем чем выше содержание в почве этих солей, тем меньше в ней соды. По-видимому, растения, обогащенные натрием, богаты вместе с тем анионами серной и хлористоводородной кислоты, и при разложении растительных остатков образуются хлориды и сульфаты натрия.

нии вовсе не содержит поглощенного натрия; в комплекс этого образца искусственно был введен натрий, и почва продиализирована до полного удаления натриевой соли, раствором которой чернозем обрабатывался.

Опыт 1. 5 *г* почвы на воронке промывались одним литром воды (вода каждый раз приливалась на воронку небольшими порциями). Были взяты четыре навески: первоначальная почва; почва с поглощенным натрием; то же, но промывающая вода была насыщена углекислотой; почва с поглощенным натрием, смешанная с 0,5 *г* углекислого кальция. Анализ промывных вод дал следующие результаты (в % от веса сухой почвы):

	Сумма минеральных веществ	Al_2O_3+ +Fe_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Na_2CO_3	Растворимый гумус в *см*³ 0,05 н. $KMnO_4$ на 100 *г* почвы
1. Почва первоначальная	0,09	Сл.	0,016	0,042	Не опр.	Не опр.	Не опр.
2. » с поглощ. Na	1,88	0,89	0,296	0,022	0,038	0,46	11120
3. То же + $CaCO_3$	2,40	Сл.	0,026	0,163	0,701	1,45	Не опр.
4. Почва с поглощ. Na, вода насыщена CO_2	3,28	1,72	0,464	0,036	0,061	0,94	»

Примечание: 1. Мел содержал довольно много углекислого магния. 2. Промывные воды почвы 1 и 3 были почти бесцветны, почвы 4 — слабо окрашены органическим веществом, почвы же 2 — очень интенсивно окрашены.

Опыт 2. Из навесок первоначального чернозема (тот же образец, что в предыдущем опыте) и чернозема с поглощенным натрием (тот же образец, что в предыдущем опыте) было сделано по семь последовательных вытяжек; общие фильтраты проанализированы. На 100 *г* сухой почвы было найдено (в граммах):

	Прокален. сухой остаток	Потеря от прокаливания	Al_2O_3+Fe_2O_3	SiO_2
1. Почва первоначальная	0,12	0,08	Сл.	0,02
2. » с поглощенным Na	2,20	1,60	0,74	0,46

Приведенные данные определенно показывают, что для одного и того же эффекта, например, для одинакового выщелачивания полуторных окислов, в случае солонцеватой почвы требуется во много раз меньшая степень увлажнения, нежели в случае такой же почвы во всех остальных отношениях, но не содержащей в поглощающем комплексе натрия.

Таким образом, солонцеватые почвы, как объект последующего почвообразования, значительно легче, нежели почва несолонцеватая с поглощающим комплексом, насыщенным щелочноземельными металлами, подвергаются действию воды с выносом оснований (натрия), и гумуса и с разложением алюмосиликатной части *; этот процесс в данном случае для достижения той же стадии требует и значительно меньшего времени и может резко проявиться при значительно более засушливом климате, нежели в случае почв, насыщенных только кальцием и магнием; этот процесс образования нового типа почвы из солонцеватой почвы, как материнской породы, приводит к почвам, солодям, отличным от подзолистых почв и по своему генезису и по свойствам получающегося образования, а потому процесс образования солодей правильнее обозначать иным термином, не подзолообразованием, а, например, осолодением.

И вот благодаря такой повышенной разлагаемости водою поглощающего комплекса, содержащего натрий, солонцеватые почвы (или горизонты) сравнительно быстро даже при климате сравнительно очень сухом подвергаются осолодению с разрушением той части поглощающего их комплекса, которая была насыщена натрием; можно с уверенностью утверждать, что очень многие деградированные и «оподзоленные» почвы в зонах более засушливых, нежели дерново-подзолистая, произошли именно таким путем — путем деградации ранее залегавших солонцеватых почв, появление которых в этих местах в свою очередь было вызвано засоленностью натриевыми солями, имевшей в прежние времена, очевидно, большее распространение, нежели теперь **. В табл. XVII привожу для иллюстрации данные, полученные Е. Н. Ивановой в нашей лаборатории, состава поглощенных катионов в двух образцах солодей.

Но процесс осолодения может протекать в солонцеватых почвах, по крайней мере с полной его силой, лишь тогда, когда почва не содержит карбонатов щелочноземельных металлов; в присутствии последних натрий поглощающего комплекса постепенно заменяется щелочноземельными металлами; сильное разлагающее действие воды низводится если не до такой же интенсивности, какая имеет место в почвах с поглощенными Ca и Mg (см. табл. на стр. 329), то во всяком случае очень сильно

---

* Подробнее см. в моих статьях: «Почвы, ненасыщенные основаниями»... и «Ультрамеханический состав почвы»...— Журн. оп. агр., т. 22, ч. 1, 1924, стр. 1 и 27. (См. также стр. 108 в наст. томе).

** Насколько неестественно допущение образования «подзолообразных» почв в области сухих степей путем подзолообразовательного процесса для вдумчивого исследователя, показывает отношение к этому вопросу П. С. Коссовича; например, в своих «Основах учения о почве» (ч. II, вып. 1, 1911 г., стр. 115) он говорит: «процесс образования серо-бурых почв представляет много своеобразных черт; однако же, как выше указано (стр. 55), ближайшие причины, обусловливающие особенности этого процесса, остаются еще весьма мало разъясненными. Несмотря на то, что серо-бурые почвы образовались при недостатке влаги, процессы выщелачивания проявились в них сравнительно резко». Теперь, с точки зрения выше изложенного, происхождение этих почв совершенно ясно; это осолоделые в той или другой степени бывшие некогда солонцеватыми почвы.

Таблица XVII

Состав поглощенных катионов в солодях
(анализ Е. Н. Ивановой)

Уезд	Горизонты, *см*	Содержание в почве поглощенных катионов, %			Содержание в почве поглощенных катионов, *мг-экв*			Емкость поглощения, *мг-экв*	Состав погл. катионов, % от емкости		
		Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na		Ca	Mg	Na
Ишимский	0—5	0,258	0,107	0,041	12,9	9,0	1,8	23,7	54,5	37,9	7,6
	5—10	0,075	0,048	0,025	3,7	4,0	1,1	8,8	42,3	45,6	12,1
	12—17	0,099	0,044	0,025	5,0	3,6	1,1	9,7	51,0	37,9	11,1
	40—45	0,384	0,189	0,037	19,2	15,7	1,6	36,5	52,5	43,0	4,5
	60—65	0,449	0,222	0,048	22,5	18,5	2,1	43,1	52,1	43,0	4,9
	110—115	—	—	0,051	—	—	2,2	39,5	—	—	5,6
Челябинский	0—5	0,166	0,056	0,077	8,3	4,7	3,3	16,3	50,9	28,8	20,2
	5—10	0,355	0,116	0,056	17,8	9,6	2,4	29,8	59,7	32,2	8,1
	10—15	0,152	0,046	0,046	7,6	3,8	2,0	13,4	56,7	28,4	14,9
	20—25	0,064	0,020	0,018	3,2	1,6	0,8	5,6	57,1	28,6	14,3
	40—45	0,254	0,118	0,060	12,7	9,8	2,6	25,1	50,6	39,0	10,4
	100—105	0,228	0,101	0,049	11,4	8,4	2,1	21,9	52,1	38,4	9,6

понижается; возможно, что здесь продукты разложения алюмосиликатного ядра и высокодисперсные гуматы коагулируют под действием растворенных карбонатов кальция и магния; одним словом, аналогично тому, как углекислый кальций и магний защищают почвы таежной зоны от оподзоливания, эти соли защищают солонцеватые почвы от осолодения; таким образом, если засоленная натриевыми солями почва, содержащая карбонаты щелочных земель, рассоляясь, превратится в солонцеватую, то дальнейшая судьба такого почвенного образования будет иная, нежели в отсутствие этих карбонатов; получается лишь слабое осолодение, и образуется почва примерно такая же, какой она была до стадии засоления, с сравнительно ничтожной потерей поглощающего комплекса (главным образом его органической части).

В схеме, изображающей эволюцию почвы, засоленной натриевыми солями:

Почва засоленная натриевыми солями. В поглощающем комплексе содержится натрий; кроме того, почва содержит растворимые соли натрия	→ Почва рассоленная (солонцеватая). В поглощающем комплексе имеется натрий; растворимые соли натрия вымыты из почвы	→ Деградированная солонцеватая почва. Из почвы удалены не только растворимые соли натрия, но и поглощенный натрий из поглощающего комплекса

в том случае, когда почва не содержит щелочноземельных карбонатов, крайние члены будут сильно различаться между собой и по содержанию поглощающего комплекса, и по его составу; степень различия будет

находиться в зависимости от степени солонцеватости почвы. В том же случае, когда почва содержит щелочноземельные карбонаты, конечное звено схемы и по величине минерального комплекса, и по составу его анионной части может почти совершенно совпадать с начальным звеном, только место поглощенного натрия в нем будет занимать кальций (и магний); если мы возьмем для примера чернозем, засоленный натриевыми солями, то в результате указанной эволюции в первом случае (бескарбонатная почва) получим солодь (вторичный подзол), а во втором (карбонатный чернозем) — черноземную же почву, отличающуюся от незасоленного чернозема главным образом меньшей гуматной частью. Последний случай, по моему мнению, имеет место, например, в области днепровского ледникового языка, где, по-видимому, многие теперь уже не солонцеватые почвы представляют деградированные, осолодевшие солонцы *.

Среди солей, засоляющих почвы засушливого климата, большое распространение кроме натриевых солей имеет сернокислый кальций (и магний); в том случае, когда в почве имеется только эта соль, разумеется, не может быть речи о переходе почвы при рассолении ее в солонцеватую; *чистые кальциевые солончаковые почвы* и почвы, получающиеся из них в случае рассоления, подобно почвам черноземной зоны, в своем поглощающем комплексе, также насыщенном основаниями, не содержат поглощенного натрия; но в отличие от чернозема поглощающий комплекс их беднее гуматной частью и относительно беден магнием.

Смешанные натриево-кальцевые солончаковые почвы будут в своем поглощающем комплексе содержать натрий, количество которого будет находиться в зависимости от соотношения между концентрациями натриевых и кальциевых солей; при рассолении они могут дать как солонцеватые, так и несолонцеватые почвы, подобные тем, какие получаются из чисто гипсовых солончаковых почв; вследствие значительно меньшей растворимости гипса и большей энергии поглощения кальция солонцеватые почвы из таких солончаковых могут получиться лишь в случае малого содержания гипса; при более или менее значительном содержании его и даже при очень больших количествах натриевых солей в результате рассоления получится несолонцеватая почва. Таким образом, подобно тому, как углекислый кальций в случае его присутствия предохраняет почвы таежной зоны от оподзоливания (и приводит в условиях климата подзолистой зоны к образованию почв черноземного типа), а солонцеватые почвы более засушливых зон — от осолодения, гипс *предохраняет почвы засушливых районов от солонцеватости*.

Для иллюстрации этого положения, непосредственно вытекающего из

* Подробнее см. мою статью в Отчете хим. отдела Носовской с.-х. оп. станции за 1923 г., а также мои статьи: «К вопросу об естественно-историческом районе Носовской с.-х. оп. станции».— Труды Носовской с.-х. оп. станции; вып. 40, 1926; Труды Носовской с.-х. оп. станции, вып. 44, 1926.

моей теории солонцов *, приведу данные Kelley и Brown'а для ряда солончаковых почв Калифорнии, содержащих растворимые соли кальция наряду иногда с большими количествами солей натрия (табл. XVIII),

Таблица XVIII

Содержание воднорастворимых солей (в частях на миллион частей почвы) в натриево-кальциевых солончаковых почвах Калифорнии, дающих после рассоления несолонцеватые почвы, по Kelley и Brown'у *

№ пп.	Место взятия почвы	Горизонты, дм	Ca	Mg	K	Na	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	NO_3
1	Fresno, Cal.	0—12	610	230	188	2,744	0	214	2,350	695	5,000
2	Sutter Basin, Cal.	0—12	253	175	18	552	0	61	1,282	708	9
3	Mendota, Cal.	36—72	2,175	488	32	1,280	0	229	443	9,073	0
4	Imperial, Cal.	0—12	1,551	491	152	3,609	0	168	7,812	2,523	194
5	» »	0—12	2,830	3,211	504	14,082	0	168	31,904	4,830	165
6	» »	12—24	2,603	428	211	5,540	0	153	8,496	7,569	435
7	Holtville, Cal.	0—12	3,498	800	262	5,916	0	168	10,195	9,868	510
8	» »	12—24	880	340	128	2,630	0	290	3,009	4,635	200
9	Santa Anna, Cal.	0—12	2,772	1,617	2,000	15,105	0	305	18,160	22,245	0

* *W. P. Kelley and S. M. Brown.* Base Exchange in Relation to Alkali Soils. — Soil Sci., v. XX, 1925, p. 483.

показывающие, что после рассоления таких почв в поглощающем их комплексе почти вовсе не содержится поглощенного натрия, т. е. что такие солончаки превращаются в несолонцеватые почвы (табл. XIX).

Таким образом, в описываемой здесь области, в области с недостаточным увлажнением, почвенный поглощающий комплекс наряду со щелочноземельными металлами будет содержать поглощенный натрий (а как следствие этого — в некоторых случаях и поглощенный водород) **; кроме того, здесь будут встречаться почвы при гипсоносных материнских породах, в поглощающем комплексе которых будет содержаться только кальций и магний, а может быть, и только один кальций; т. е. в последних условиях в пустынно-степной зоне будем иметь почвы черноземного типа почвообразования.

Относительно анионной части поглощающего комплекса почв этой области можно сказать следующее.

* См. мою статью «Засоленные почвы и их улучшение».— Журн. оп. агр., т. 18, 1917.

** Вопрос о присутствии в осолодевших и осолодевающих почвах поглощенного водорода еще недостаточно ясен, так же как вообще вопрос о дальнейшей судьбе солодей; для выяснения того и другого нет еще достаточного материала, как полевого, так и лабораторного. Во всяком случае, в некоторых образцах солодей мне удавалось констатировать ясное присутствие ненасыщенности, в других же ее вовсе не было.

Состав поглощенных катионов в солончаковых почвах
растворимые кальциевые соли, по

№ п.п.	Место взятия почвы	Горизонты, *дм*	В % от веса почвы				В *мг-экв*			
			Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na
1	Fresno, Cal.	0—12	0,151	0.051	0,047	0,030	7,55	4,25	1,21	1,30
2	Sutter Basin, Cal.	0—12	0,380	0,162	0,040	0,047	19,00	13,50	1.03	2,43
3	Mendota, Cal.	36—72	0,333	0,074	0,014	0,019	16,65	6,17	0,36	0,83
4	Imperial, Cal.	0—12	0,332	0.112	0,053	0,044	16,60	9,33	1,36	1.91
5	» »	0—12	0,433	0,089	0,029	0,025	21,65	7,42	0,74	1,09
6	» »	12—24	0,511	0.062	0,025	0,011	25,55	5,17	6,41	0,48
7	Holtville, Cal.	0—12	0,554	0,093	0,019	0,015	27,70	7,75	0,49	0,65
8	» »	12—24	0,460	0,113	0,032	0,005	23,00	9,42	0,84	0.22
9	Santa Ana, Cal.	0—12	0,594	0,109	0,034	0,022	29,70	9,08	0,87	0,95

* *W. P. Kelley and S. M. Brown.* Base Exchange in Relation to Alkali Soils. —Soil Sci., v. XX,

1. Анионная часть органического комплекса здесь меньше, нежели в почвах черноземной зоны; ее количество все убывает с возрастанием засушливости и по сравнению с таковой в черноземных почвах, и по сравнению с анионной частью минерального комплекса самой почвы; отношение между величинами гуматной части и цеолитной части становится все меньше по мере ухудшения условий увлажнения. Растворимость гуматной части в воде у этих почв выше, чем у чернозема, а повышается с увеличением засушливости (распыляющее действие поглощенного натрия).

2. Мы видели, что в черноземных почвах отношения $2SiO_2 : Al_2O_3$, извлекаемых из почвы щелочью, вообще больше единицы; в почвах более засушливых районов оно еще больше, особенно в почвах, затронутых процессом осолодения; в типичных солодях это отношение может достигать очень большой величины: в то время как щелочь здесь извлекает глинозема примерно столько же (около 0,5%), а иногда и значительно меньше, количество кремнекислоты в некоторых исследованных нами образцах было выше 10%; здесь можно определенно говорить о содержании в этих почвах аморфной кремнекислоты; в о о б щ е о с о л о д е н и е п о ч в в п р о т и в о п о л о ж н о с т ь о п о д з о л и в а н и ю с о п р о в о ж д а е т с я н а к о п л е н и е м в о с о л о д е в а ю щ е м г о р и з о н т е а м о р ф н о й к р е м н е к и с л о т ы *.

* Сводка данных содержания аморфной SiO_2 в различных типах почвы приведена мною в статье «Осолодение почв»; см. также ниже, стр. 340 и далее.

Таблица XIX

Калифорнии, содержащих
Kelley и Browny *

Емкость погло-щения, *мг-экв*	Содержание поглощенных катионов, % от емкости поглощения			
	Ca	Mg	K	Na
14,31	52,76	29,69	8,46	9,09
35,96	52,84	37,54	2,86	6,76
24,01	69,35	25,70	1,50	3,46
29,20	56,85	31,95	4,66	6,54
30,90	70,06	24,01	2,39	3,53
37,61	67,93	13,75	17,04	1,28
36,59	75,70	21,18	1,34	1,78
33,48	68,70	28,14	2,51	0,66
40,60	73,15	22,36	2,14	2,34

1925, p. 485

3. Слабая соляная кислота (0,05 н.) извлекает из почв засушливых районов, в противоположность черноземам, больше кремнекислоты, нежели глинозема.

Подводя общий итог изложенному о почвенном покрове областей, более засушливых, нежели область типичного чернозема, с точки зрения состава поглощенных катионов, укажем прежде всего на очень малую изученность этого вопроса; естественно, поэтому нижеизложенное будет очень схематично.

Общий фон почвенного покрова слагается здесь почвами разной степени солончаковатости и солонцеватости, усиливающейся по мере движения от черноземной зоны на юго-восток, то есть почвами, насыщенными основаниями, между которыми большее или меньшее участие принимает поглощенный натрий *; почвы солонцеватые могут встречаться тут (в зависимости от местных условий увлажнения, соленосности грунтов, высоты грунтовых вод) разной степени осолодения, начиная от вовсе неосолоделых до вполне осолодившихся; в связи с этим в рассматриваемой области будут встречаться не только почвы, насыщенные основаниями, но и такие, в которых поглощающий комплекс в той или другой степени разрушен с накоплением аморфной кремнекислоты и некоторого количества поглощенного водорода; ненасыщенность эта, ввиду очень легкой разрушаемости комплекса, насыщенного натрием, малой величины гуматной его части и ничтожного ежегодного новообразования гуматной части, сравнительно с ненасыщенностью почв влажных областей может быть лишь очень небольшая.

В этой же зоне, кроме почв, типичных для нее, должны встречаться и почвы черноземного типа почвообразования, аналогично черноземным почвам (перегнойно-карбонатным) дерново-подзолистой зоны, т. е. почвы, поглощающий комплекс которых насыщен основаниями и притом только

---

* В сущности говоря, стадию солонцеватости (содержание в поглощающем комплексе поглощенного натрия) должна была пережить каждая почва или же рыхлые материнские породы, из которых почва образовалась, независимо от того, были ли материнские породы первоначально засолены натриевыми солями. Вопрос может заключаться лишь в том, какова могла быть степень солонцеватости почвы при этом и какова была продолжительность этой стадии солонцеватости: в этом вопросе кроме условий климата существенное значение должна была сыграть карбонатность (гипсоносность) материнской породы.

кальцием и магнием (а в некоторых случаях быть может почти исключительно кальцием), а анионная часть которых не подвергалась сколько-нибудь заметному разложению.

В каких условиях могут возникнуть в засушливой области подобные почвы? К таким почвам, во-первых, могут быть отнесены те очень слабо солонцеватые почвы, а также происшедшие из них солоди, у которых солонцеватость и осолодение настолько слабо выражены, что имевшиеся методы исследования этих свойств (методы в общем еще очень грубые) недостаточны для ясного их обнаруживания. Во-вторых, к ним будут причислены те разности осолодевших почв, которые произошли из солонцеватых, содержащих углесоли щелочноземельных металлов, и в которых вследствие защитной роли этих карбонатов поглощающий комплекс лишился поглощенного натрия, не изменив сколько-нибудь заметно своей алюмосиликатной анионной части.

В-третьих, к ним будут несомненно относиться все почвы, образующиеся в присутствии таких количеств гипса, что ион натрия или не может вступать в поглощающий комплекс, или же, если и вступает туда, то при рассолении вытесняется кальцием. Могут ли подобные почвы (с комплексом, насыщенным кальцием и магнием и не подвергнувшимся сколько-нибудь заметному разложению) возникать в засушливых областях иным путем? Стоя на той точке зрения, что при засушливом климате почвы засоление легко растворимыми солями происходит не только вследствие соленосности материнских пород, а также вследствие накопления этих солей как продуктов почвообразования (точка зрения, как мы указывали выше, еще недостаточно обоснованная непосредственными данными, но, по нашему мнению, все-таки более приемлемая, нежели какая-либо другая), мы должны ответить на этот вопрос отрицательно. Самым существенным отличием этих черноземовидных почв засушливых областей от почв черноземной области будет меньшее участие гуматной части в общей величине поглощающего комплекса, все большее и большее преобладание в нем по мере увеличения засушливости алюмосиликатной части.

III. ПОДЗОЛИСТЫЙ ТИП ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Обращаемся теперь к тому случаю, когда условия увлажнения почвы по сравнению с теми, от которых мы исходили и которые приводят к образованию почв с насыщенным кальцием и магнием поглощающим комплексом, имеющим относительно большую гуматную часть, начинают изменяться в сторону более сильного увлажнения.

Усиление увлажнения должно сказаться прежде всего на постепенном понижении горизонта вскипания; углесоли щелочноземельных металлов по мере этого усиления будут вымываться все ниже и ниже, и мы достигнем наконец такой области, когда в верхних почвенных горизонтах не только не будет карбонатов в твердом состоянии, но они не будут также подыматься сюда в растворе почвенных вод (по крайней

мере в течение известного периода года); мы будем иметь область выщелоченного чернозема, область почв, лишенных не только растворимых солей, но и трудно растворимых карбонатов *. Это область почв, уже подготовленных к следующей стадии почвообразования, которая и констатируется при дальнейшем усилении условий увлажнения.

До области выщелоченного чернозема водородный ион воды, даже усиленный водородным ионом растворенной в почвенной влаге углекислоты, вследствие крайне ничтожной его концентрации, не мог вступать в поглощающий комплекс почвы; этому препятствовали катионы солей (преимущественно кальций и магний) почвенного раствора; когда же концентрация этих катионов значительно понизилась, достигла очень малой величины, водородный ион получает возможность, вследствие своей высокой энергии поглощения (вытеснения), конкурировать с кальцием и магнием за место в поглощающем комплексе. Очевидно, что с этого именно момента, именно с той степени увлажнения, при которой такая конкуренция становится возможной, мы вступаем в область почв, поглощающий комплекс которых будет уже содержать поглощенный водород, т. е. в область почв, ненасыщенных основаниями.

Области с подобными условиями увлажнения имеются как на север от чернозема, так и на юг от него; область севернее чернозема — дерново-подзолистая зона — примыкает к нему, непосредственно соединяясь с ним деградированным черноземом (северный чернозем, лесные суглинки); область деградированного чернозема представлена почвами, в которых процесс замещения поглощенных оснований водородным ионом находится в настоящее время в начальной стадии и может быть уже с несомненностью констатирован нашими методами; это почвы, очень слабо ненасыщенные основаниями (если не все время года, то в известные его периоды); с дальнейшим изменением климата почвы в сторону большего увлажнения процесс замещения поглощенных оснований постепенно все усиливается; относительное количество водорода, вступившего в поглощающий комплекс, все увеличивается.

Таким образом, вся эта область (деградированный чернозем и оподзоленные почвы таежной зоны) характеризуется поглощающим комплексом, содержащим наряду с бо́льшими или меньшими остатками в нем поглощенных кальция и магния, поглощенный водородный ион. Но как нами доказано **, устойчивость поглощающего комплекса почвы (в отношении разлагающего и растворяющего действия воды) находится в тесной зависимости от рода поглощенных катионов. Из поглощенных катионов, до настоящего времени обнаруженных в почвах, наибольшую устой-

* Во избежание недоразумения должен оговориться, что выше указанное понимаю, конечно, не как полное отсутствие солей в почвенном растворе этих почв; они, конечно, имеются, но лишь как продукт почвообразовательного процесса в данный момент, но не накопления этих продуктов процесса почвообразования предшествующих периодов.

** См. мою статью «Почвы, ненасыщенные основаниями...» — Журн. оп. агр., т. 22, ч. 1, 1924, стр. 1 и «Подвижность почвенных соединений...», 1926.

чивость поглощающему комплексу придают кальций и магний; об абсолютной устойчивости комплекса с этими поглощенными основаниями говорить, конечно, не приходится; он, разумеется, и растворяется и разлагается, но значительно слабее, чем при других естественных комбинациях поглощенных катионов; то обстоятельство, что накопления где-либо продуктов распада и растворения* поглощающего комплекса вообще не констатировано в черноземах, вполне насыщенных кальцием и магнием, еще не доказывает противного.

Во-первых, здесь надо иметь в виду недостаточную чувствительность наших методов валового определения в почвах кремнекислоты и полуторных окислов; например, при 60% кремнекислоты результаты анализа 59 и 61% нужно считать находящимися в пределах точности метода **. Во-вторых, очень возможно, что в условиях комплекса, насыщенного кальцием и магнием, благодаря присутствию в почвенном растворе достаточного количества сильно коагулирующих катионов и благодаря взаимной коагуляции имеет место новообразование поглощающего комплекса из получающихся продуктов его распада в местах их возникновения. Во всяком случае, поглощающий комплекс в почвах, где он насыщен кальцием и отчасти магнием, обладает, сравнительно с комплексами иных почв, наибольшей устойчивостью.

Наименьшей устойчивостью из известных нам поглощающих комплексов обладает, как это уже указывалось раньше, комплекс солонцеватых почв, содержащий поглощенный натрий.

Промежуточное положение между этими двумя крайностями занимает поглощающий комплекс, содержащий поглощенный водород; разлагается и растворяется он, хотя и далеко не так легко, как комплекс с поглощенным натрием, но все-таки значительно быстрее, нежели поглощающий комплекс черноземных почв. Таким образом, в почвах достаточно влажных областей водородный ион почвенной влаги, не встречая здесь достаточной конкуренции других катионов, постепенно вытесняет имеющиеся в поглощающем комплексе этих почв основания, превращая его в ненасыщенный и делая его этим более доступным дальнейшему воздействию воды: гуматная его часть становится более растворимой, а алюмосиликатная легче разлагается водой, с распадом ее на отдельные окислы; совокупность этих двух процессов, из которых второй является

---

* О растворении приходится говорить главным образом в отношении гуматной части поглощающего комплекса; она, конечно, хотя и слабо, но в воде растворяется; представляют ли глубокие гумусовые горизонты степных почв результат накопления продуктов этого растворения гуматной части, или же это всегда погребенная почва,— вопрос, как известно, до сих пор окончательно не решен; но, по моему мнению, в тех случаях, когда эти глубокие горизонты не являются погребенными, они — результат выщелачивания гуматной части чернозема в той его стадии, когда он был еще солонцеватым.

** Для решения вопроса о вымывании полуторных окислов из верхнего горизонта чернозема можно рекомендовать значительное количество параллельных определений с применением теории вероятности.

следствием первого, и является сущностью того процесса почвообразования, который имеет место при условиях достаточного увлажнения почвы и который для зоны таежной получил название подзолообразования *; к этому еще необходимо добавить, что благодаря тем же климатическим условиям почвы, а также характеру растительности (главным образом характеру корневой системы древесной растительности) гуматная часть поглощающего комплекса по абсолютной величине уступает гуматной части черноземных почв, но по отношению к величине алюмосиликатной части поглощающего комплекса может не только не уступать, но, быть может, и значительно превосходить ее (исследований в этой области еще не имеется).

Дело в том, что хотя разрушению и вымыванию, вследствие ненасыщенности комплекса, подвергаются обе эти части, и гуматная, по всей вероятности, даже более энергичному, но новообразование гуматной части совершается беспрерывно и очень энергично, между тем как новообразование алюмосиликатного комплекса в верхних горизонтах (A_1 и особенно A_2), если и происходит, то чрезвычайно слабо; благоприятных условий здесь для этого нет; очень низкая концентрация в каждый данный момент как коллоидально растворенных соединений, так и электролитов; материал для новообразования этой части успевает, нескоагулировавшись, просочиться на некоторую глубину, где, встретив более подходящие условия (например, более богатые основаниями неоподзоленные горизонты, электролиты, поднявшиеся снизу с грунтовыми водами и т. п.), дает уже соответствующие новообразования.

Мы видели выше, что под влиянием воздействия воды на солонцеватые почвы также получаются почвы с сильно разрушенным и ненасыщенным поглощающим комплексом; но этот процесс («осолодение») существенно отличается от процесса оподзоливания. Прежде всего здесь и там иной исходный материал: осолодение происходит при поглощающем комплексе, содержащем поглощенный натрий, оподзоливание — при содержании только поглощенных кальция и магния **; затем, при одном и том же количестве просачивающейся через почву воды скорость процесса в том и другом случае далеко не одинакова: осолодение происходит гораздо быстрее, нежели оподзоливание, а при различных усло-

* Подробнее об этом см. мою статью «Почвы, ненасыщенные основаниями».— Журн. оп. агр., т. 22, 1924, стр. 1, и «Подвижность почвенных соединений...», 1926.

** Должен оговориться: оподзоленные почвы могут в своем поглощающем комплексе содержать и щелочные катионы, а именно натрий и аммоний. Относительно натрия надо иметь в виду возможность в подзолистых почвах по крайней мере временного увлажнения грунтовыми водами: тогда в местностях, не особенно удаленных от моря, в почву может заноситься хлористый натр; хлора нам, например, в почвах Ямбурского уезда, приходилось находить до 0,06%; почвы окрестностей Ленинграда в нижних горизонтах почти всегда содержат некоторые количества хлора. По совершенно другим причинам именно подзолистые почвы, как ненасыщенные основаниями, в своих верхних горизонтах содержат часто заметные количества поглощенного аммония. Ненасыщенность гумусового горизонта этих почв создает очень благоприятные условия для поглощения почвою того аммиака, который здесь образуется в про-

виях увлажнения значительное осолодение может происходить уже в условиях настолько засушливого климата, когда об оподзоливании не может быть еще и речи; процесс осолодения, будучи генетически связан с солонцеватостью почвы, есть процесс засушливых областей, процесс же оподзоливания, обусловливаемый значительно большей степенью увлажнения почвы, есть процесс влажных областей.

Наконец, и судьба продуктов распада алюмосиликатного ядра поглощающего комплекса в обоих случаях неодинакова; при осолодении получающаяся кремнекислота, если не целиком, то в значительной своей части остается на месте своего освобождения или во вблизилежащих слоях; солонцы, по мере их осолодения, постепенно обогащаются аморфной кремнекислотой; при процессе же оподзоливания накопления аморфной кремнекислоты не удается констатировать*. О сказанном я сужу по результатам определения кремнекислоты и глинозема, извлекаемых из почвы при обработке их 5%-ной KOH на кипящей водяной бане.

Этим способом мною за последние годы исследовано очень много самых разноообразных почв, и вот в почвах подзолистых ни в одном случае нами не обнаружено значительных количеств кремнекислоты, растворяющейся в этом реактиве; анализы производились послойные; максимальная цифра, полученная нами — 1,5% кремнекислоты, причем очень часто в том и другом горизонте или горизонтах для алюминия получаются цифры, заметно превосходящие количество извлекаемой кремнекислоты. Для иллюстрации приведу данные (стр. 340), полученные мною для одного образца торфянисто-подзолистой почвы Ленинградского уезда.

5%-ный едкий калий извлекает (в % от веса почвы)

Горизонты, *см*	SiO_2	Al_2O_3	$2SiO_2\ Al_2O_3$	Остается избыток	
				SiO_2	Al_2O_3
15—12	1,050	2,720	1,938	—	1,882
40—45	0,940	1,092	1,735	—	0,297
60—65	0,690	0,610	1,274	—	0,024
80—85	0,650	0,550	1,200	0,062	—
100—105	0,540	0,270	0,589	0,221	2

цессе аммонизации: поглощенный аммоний может играть заметную роль в числе поглощенных оснований этого горизонта подзолистых почв. См. подробнее об этом в моей статье «Краткий обзор общих результатов исследований Кафедры почвоведения Лесного института» — Изв. Ленингр. лесного ин-та, вып. 23.

* См. об этом подробнее в моей статье «Почвы, ненасыщенные основаниями...» — Журн. оп. агр., т. 22, 1924, стр. 18 и «Осолодение почв», 1926. (См. также стр. 130 в наст. томе).

Не буду утверждать, что процесс подзолообразования идет с накоплением свободного глинозема, для этого у меня нет достаточных данных; скорее здесь мы имеем его в виде сложных комплексов с органическими веществами.

Не то получается, как я указывал уже, для солодей; там всегда кремнекислоты из верхних горизонтов щелочь извлекают сравнительно много, а иногда и очень много, а глинозема, наоборот, сравнительно очень мало; к низу почвенного разреза количество кремнекислоты сильно падает, а количество глинозема несколько повышается. Вот, например, данные анализа Е. Н. Ивановой для солоди Курганского уезда:

5%-ный едкий калий извлекает (в % от веса почвы)

Горизонты, *см*	SiO_2	Al_2O_3	$2SiO_2Al_2O_3$	Остается остаток	
				SiO_2	Al_2O_3
0—5	12,790	0,092	0,185	12,697	—
6—11	5,312	0,244	0,532	5,024	—
16—21	1,326	0,792	1,728	0,390	—
40—45	1,138	0,638	1,392	0,384	—
95—100	1,362	0,188	0,410	1,140	—

Количество кремнекислоты часто настолько превышает количество глинозема, что определенно можно говорить о накоплении здесь аморфной кремнекислоты *. Каковы же причины такого различия?

---

* Ввиду поступающих ко мне запросов, помещаю здесь описание моего метода определения аморфной кремнекислоты в первоначальной почве.

Определение аморфной кремнекислоты в почве

5 *г* почвы, просеянной через сито 1 *мм*, помещают в стакан или эрленмейеровскую колбу (200—250 *см*^{3} емкости); желательно то и другое иенского стекла; приливают 100 *см*^{3} 5%-ного раствора едкого кали и помещают на водяную баню, которую доводят до сильного кипения (или прямо уже на кипящую баню). После того как содержимое стакана нагреется до максимально возможной температуры, держат стакан на сильно кипящей бане еще полчаса; во время стояния стакана на водяной бане содержимое его перемешивается через каждые 10 мин. Стакан или колба должны быть закрыты, первый — часовым стеклом; вторая — воронкой.

По прошествии указанного времени приступают к фильтрации (фильтр в 9 *см* с белой обмоткой или из бумаги № 597): взбалтывают содержимое стакана и приливают на воронку, заткнув конец трубки пальцем, а затем под воронку подставляют стакан со щелочной вытяжкой; после того как фильтрующаяся жидкость станет совершенно прозрачной (без следов мути), продолжают фильтровать в другой, чистый стакан. Во время фильтрации стакан (или колба) с щелочной вытяжкой все время держится на очень слабо кипящей бане.

Когда вся жидкость из стакана отфильтрована, фильтрат переносят в фарфоровую чашку (14 *см* в диаметре), подставляют тот же стакан опять под воронку и промывают почву 10—12 раз кипящим 0,5%-ным раствором едкого кали. Промывные воды сливают в ту же чашку; подкисляют содержимое чашки до сильнокислой реак-

Одна из этих причин, и притом несомненная, заключается в различии концентрации коллоидально растворенных продуктов распада алюмосиликатного ядра при осолодении и при оподзоливании: в первом случае она значительно выше, чем во втором, так как при осолодении распад ядра идет во много раз энергичнее; во втором же случае в каждый момент она очень ничтожна и близка к той предельной, ниже которой осаждения уже не происходит. Затем, и концентрация свертывателей при осолодении, особенно при первых его стадиях, могущих протекать еще при некотором засолении почвы, значительно выше, нежели в оподзоливающихся почвах.

Наконец, это уже область предположений, очень вероятных, по моему мнению, но непосредственно недоказуемых, в судьбе продуктов распада в том и другом процессе принимает участие и реакция среды. Реакция почвенного раствора в солонцеватых почвах и осолоденных почвах (до известного предела) будет щелочная, обусловливаемая едким натром (этот едкий натр, продукт вытеснения поглощенного натра водородным ионом воды, может целиком перейти в двууглесоль только при очень больших количествах углекислоты); существенно иное мы имеем при действии воды на поглощающий комплекс почвы, насыщенный кальцием и магнием и не содержащий вовсе поглощенного натра, т. е. при деградации несолонцеватых черноземов и при подзолообразовательном процессе вообще.

При избытке углекислоты (или других слабых органических кислот) реакция почвенного раствора здесь будет кислая, хотя почвенный раствор всегда содержит некоторое количество карбоната кальция, как продукта, получающегося при вытеснении из почвы водородом воды поглощенного кальция; если даже при недостатке указанных кислот в почвенном растворе будет существовать свободный гидроксильный ион, то ему здесь будет соответствовать катион кальция, а не натрия. Так как действие гидроксильного иона на коллоидально распыленные вещества, с одной стороны, противоположно действию катионов, а с другой стороны, значительно сильнее действия катиона натрия, но слабее действия катиона кальция, то в общем результате действие гидроксильного иона может сказываться лишь в солонцеватых почвах и в процессах их деградации; в подзолообразовательных же процессах действие его не может проявиться.

Далее, коллоидальные растворы кремнекислоты, с одной стороны, и глинозема и окиси железа, с другой стороны, относятся к гидроксильному иону противоположно: для гидроокисей железа и алюминия он, в ничтожных концентрациях, является стабилизатором; поэтому в усло-

---

ции соляной кислотой (20 *см*^{3} HCl, 1,19) и выпаривают досуха на кипящей водяной бане. Если вытяжка едким кали получалась темной, то к жидкости в чашке кроме соляной кислоты прибавляют еще 10 *см*^{3} крепкой азотной кислоты для разрушения органических веществ.

Просушив сухой остаток при 150° в течение одного часа, определяют в нем SiO_2, а в полученном от нее фильтрате — полуторные окислы ацетатным методом.

виях поглощающего комплекса с поглощенным натрием создаются особенно благоприятные условия для выноса полуторных окислов и накопления аморфной кремнекислоты. В почвах же с поглощающим комплексом, не содержащим натрия, при почвообразовательном процессе, ведущем к ненасыщенности основаниями, такого благоприятного условия для накопления аморфной кремнекислоты не имеется, а для коллоидальных гидроокисей железа и алюминия имеются, наоборот, благоприятные условия для выпадения — слабокислая реакция, но для этих соединений явление здесь сложнее, так как здесь концентрация продуктов распада ненасыщенного комплекса, как мы указывали выше, сравнительно мала, что благоприятствует их вымыванию (всякий инстабилизирующий фактор может производить свое действие лишь при концентрации коллоидальных растворов выше некоторой величины); но во всяком случае, коллоидальные гидроокиси алюминия и железа в подзолистых почвах имеют тенденцию к выпадению уже в месте своего образования; проявлению этой тенденции здесь мешает еще одно обстоятельство — большое количество просачивающейся воды при легко обратимом состоянии выпадающих гидроокисей.

Присутствие означенной тенденции к выпадению уже в элювиальном горизонте подтверждается для алюминия данными щелочной вытяжки (бо́льшие количества извлекаемого глинозема по сравнению с кремнекислотой), а для железа — водными вытяжками, в которых количество железа часто больше, чем в водных вытяжках из соответствующих горизонтов других почв (например, черноземов).

Для объяснения накопления аморфной кремнекислоты в осолодевающих солонцах очень интересным является исследование H. Freundlich и Cohn'а над свойствами щелочных золей кремнекислоты *. Авторы указывают, что свойства кремнекислоты, несмотря на то, что она является классическим примером гидрофильного золя, до настоящего времени еще недостаточно выяснены. Со своей стороны отмечу, что с другими двумя основными коллоидальными веществами почвы, гидратом окиси железа и алюминия, положение во всяком случае не лучше; такое положение даже является существенным препятствием выяснению почвенных коллоидальных процессов.

Поводом к излагаемому здесь исследованию Freundlich'а и Cohn'а послужила работа Flemming'а **, показывающая, что прибавление к золю кремнекислоты небольшого количества щелочи сильно повышает способность этого золя к коагуляции. Авторы подробно исследовали это явление, причем работали с тщательно продиализированным золем кремнекислоты. Изучалось влияние щелочи ($LiOH$, $NaOH$, KOH, NH_4OH) на величину электролитического порога осаждающего золь электролита. Во всех случаях картина получалась однородная: с увеличением количества прибавляемой щелочи (все равно какой) величина электролитического

* *H. Freundlich und H. Cohn.* Ueber die Eigenschaften alkalischer Kiesselsäuresole.— Koll.-Zeitschr., Bd. XXXIX, 1926, S. 28—35.

** *W. Flemming.* Zeitschr. f. phys. Chem., Bd. 41, 1902, S. 446.

порога сначала понижается, а затем повышается: с дальнейшим еще повышением количества прибавляемой щелочи кремнекислота перестает осаждаться электролитами; т. е. с увеличением количества прибавляемой щелочи чувствительность золя кремнекислоты к осаждающему действию электролитов сначала повышается, достигает максимума, а затем падает. Вот, например, данные для электролитического порога NaCl при разном содержании едкого натрия в золе SiO_2:

Конц. KOH, нормальность	Порог электролитической коагуляции для NaCl, *ммоль/л*	Конц. KOH, нормальность	Порог электролитической коагуляции для NaCl, *ммоль/л*
0,0000	4000	0,05420	1200
0,00451	3800	0,07220	1225
0,00902	2300	0,09020	Нет коагуляции
0,01805	1200	0,12630	
0,2708	900	0,18050	
0,03610	1000		

Наблюдающееся явление понижения чувствительности золя кремнекислоты, начиная с некоторой концентрации щелочи (при концентрации KOH выше 0,02708 н.) авторы объясняют образованием в растворе из золя SiO_2 и щелочи калийного силиката. Наблюдение над явлением Тиндаля в щелочных золях кремнекислоты показывает, что с увеличением щелочности это явление все слабее и слабее проявляется и, наконец, при той щелочности, при которой не наблюдается уже коагуляции, явление это совершенно исчезает, т. е. мы имеем истинный раствор силиката калия; на то же указывает измерение pH, проводимости и опыты с диализированием.

Сложнее вопрос о причинах первоначального повышения чувствительности золя с повышением щелочности; казалось, должно было быть наоборот: повышение щелочности повышает отрицательный заряд золя кремнекислоты, а значит, повышает его устойчивость и понижает чувствительность к осаждающему действию электролитов. В своем объяснении указанного явления авторы исходят из новых воззрений на причины устойчивости гидрофильных золей, развитых в последнее время Kruyt'ом *, Freundlich'ом с Scholz'ем **.

По новым воззрениям устойчивость гидрофильных золей зависит не только от заряда частичек, но и от степени их гидратации. Оба эти фактора защищают золь от свертывания, и для того чтобы произошла коагуляция, оба они должны достигнуть известного минимума; если же соответствующего минимума достигает только один из них (заряд или

---

* *H. B. Kruyt.* Die Stabilitätsverhältnisse bei lyophilen Kolloiden. Koll.— Zeitschr., Bd. XXXI, 1922, S. 338—341. Zeitschr. f. phys.-Chem., Bd. 100, 1922, S. 250.

** *H. Freundlich und P. Scholz.* Ueber hydrophobe und hydrophile Sole des Schwefels.— Kolloidchem. Beihefte, Bd. XVI, 1922, S. 234—266.

степень гидратации), то свертывания все-таки не будет. Прямых вполне доказательных способов определения содержания воды в мицеллах золя SiO_2 не имеется, но авторы рядом косвенных наблюдений (измерением вязкости, защитным действием других гидрофильных коллоидов на сенсибилизированный золь SiO_2, видом и состоянием хлопьев, образующихся при коагуляции золей кремнекислоты с различным содержанием щелочи) доказывают, что прибавление щелочи к золям кремнекислоты вызывает дегидратацию, т. е. переход гидрофильного коллоида в гидрофобный, более чувствительный к осаждающему действию электролитов.

Мы подробно остановились на работе Freundlich'a и Cohn'a, так как считаем, что всякое исследование свойств золей и гелей SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 должно представлять большой интерес для познания коллоидальных свойств почвы и что то свойство золя SiO_2, которое изучалось в данной работе, должно играть существенную роль в процессах почвообразования; оно, очевидно, может быть причиной (или одной из причин) накопления аморфной SiO_2 в деградирующих солонцах; во всяком случае, если иметь в виду это свойство, то легче себе объяснить существенную разницу в процессах осолодения и оподзоливания. Реакция среды, в которой идет процесс осолодения, всегда щелочная, реакция среды в почвах оподзоливающихся — слабо кислая; золи кремнекислоты в первом случае будут обладать большей чувствительностью к осаждающему действию электролитов, нежели во втором; значит, если бы даже все прочие условия при этих двух почвообразовательных процессах в отношении коллоидально растворенной кремнекислоты были одинаковы, то все-таки именно при осолодении золи SiO_2 должны обладать меньшей устойчивостью; остальные же условия также неодинаковы и складываются в том же направлении понижения устойчивости (более высокая концентрация электролитов и более высокая концентрация самого золя кремнекислоты в осолодевающих почвах, нежели в оподзоливающихся).

Ненасыщенность основаниями поглощающего комплекса подзолистых почв не может быть одинаковой в различных их генетических горизонтах; она должна была бы быть наибольшей в элювиальном горизонте и малой, а иногда и совершенно отсутствовать в горизонтах иллювиальных, подвергающихся воздействию растворов, содержащих основания, вымываемые из верхних горизонтов.

Но в горизонтах элювиальных картина осложняется, во-первых, легкой разрушаемостью ненасыщенного комплекса; вследствие этого, особенно в элювиальном подгоризонте (A_2), в зависимости от стадии подзолообразования поглощающий комплекс в той или другой степени разрушен, именно та часть его, из которой вынесены уже основания; из этой ненасыщенной части в каждый момент в почве остается лишь небольшое количество, так что поглощающий комплекс гор. A_2 характеризуется при низких стадиях оподзоливания сравнительно слабым разрушением и малой ненасыщенностью; с усилием стадии подзолообразования величина комплекса будет соответственно понижаться, а ненасыщенность будет оставаться также малой величиною.

Во-вторых, в гумусовом подгоризонте наряду с разрушением поглощающего комплекса идет энергичное новообразование гуматной части, а потому здесь именно вместе с относительно большой величиной поглощающего комплекса обнаруживается и наибольшее в почвенном разрезе содержание поглощенного водорода. В иллювиальных горизонтах появление более или менее большой насыщенности и вместе с тем разрушение поглощающего комплекса возможно лишь с того момента, когда из верхних горизонтов будет вынесена большая часть поглощенных оснований; до этой стадии поглощающий комплекс этого горизонта, не только почти не разрушаясь, но даже новообразуясь, благодаря взаимному осаждению здесь коллоидально растворенных веществ из верхнего горизонта, достигает в почвенном разрезе оподзоленных почв наибольшей величины.

Для иллюстрации состава поглощенных катионов в поглощающем комплексе подзолистых почв приведу здесь данные для торфянисто-подзолистой почвы из работ Е. Н. Ивановой, полученные в нашей лаборатории (табл. XX) и мои данные для пахотного горизонта подзолистой почвы Смоленской губ. (табл. XXI).

Таблица XX

Состав поглощенных катионов в торфянисто-подзолистой почве
(анализ Е. Н. Ивановой)

Горизонты, глубина, *см*	Содержание в почве поглощенных катионов, %			Содержание в почве поглощенных катионов, *мг-экв*			Емкость поглощения, *мг-экв*	Содержание погл. катионов, % от емкости		
	H	Ca	Mg	H	Ca	Mg		H	Ca	Mg
A_2 0—5	0,0385	—	—	3,85	—	—	—	—	—	—
A_2 10—15	0,0095	0,033	0,0106	9,5	1,7	0,9	12,1	78,5	13,9	7,5
A_2 15—20	0,0032	0,019	0,0045	3,2	1,0	0,4	4,6	70,8	20,8	8,4
A_2 20—25	0,0007	0,014	0,0043	0,7	0,7	0,4	1,8	39,4	40,5	20,1
B 30—35	0,0003	0,042	0,0222	0,3	2,1	1,9	4,3	6,2	50,1	43,7
B 50—55	0,0004	0,118	0,0669	0,4	5,9	5,6	11,9	3,6	49,5	46,9
B 100—105	0,0005	0,135	0,0610	0,5	6,8	5,1	12,4	3,9	54,6	41,5

Интенсивность процесса перевода насыщенного комплекса в состояние ненасыщенности и связанная с этим интенсивность распада и уничтожения таким образом этого комплекса (т. е. процесса, именуемого в условиях зоны среднего увлажнения подзолообразовательным) находится в непосредственной зависимости от количества воды, просачивающейся через почву, и от содержания в ней углекислоты, т. е. от соотношения между количеством выпадающих осадков и температурой, от характера растительности, скорости разложения органических остатков и от свойств материнской породы (а в условиях не плакорных, конечно, и от рельефа).

Таблица XXI

Состав поглощенных катионов в пахотном слое суглинистой подзолистой почвы Смоленской губ. *, по автору

Горизонт, *см*	Содержание в почве поглощенных катионов, %				Содержание в почве поглощенных катионов, *мг-экв*				Емкость поглощения, *мг-экв*	Содержание погл. катионов, % от емкости			
	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na		Ca	Mg	K	Na
0—20	0,10	0,010	0,015	0	5,0	0,83	0,38	0	6,21	80,5	13,4	6,1	0

* Почва ненасыщенная основаниями; содержание поглощенного водорода ничтожное и потому не принято тут во внимание. Данные показывают, что поглощающий комплекс очень сильно разрушен.

Поэтому при продвижении на север от полосы выщелоченного чернозема интенсивность этого процесса в общем сначала будет все возрастать и достигнет максимума там, где означенные выше факторы комбинируются таким образом, что создают оптимальные условия для означенной деятельности воды; а затем, с дальнейшим понижением температуры, с появлением избыточного увлажнения, влекущего за собой заболачивание, интенсивность процесса будет понижаться, и сам он будет постепенно затухать по мере усиления заболоченности.

Какой степени может достигать разрушение алюмосиликатного комплекса в дерново-подзолистой зоне при оптимальных для этого здесь условиях, теперь еще нельзя сказать, так как для этого необходимо массовое исследование поглощающего комплекса этих почв, но во всяком случае, и имеющиеся уже данные показывают, что в горизонте A_2 некоторых подзолов алюмосиликатный поглощающий комплекс разрушен основательно: его емкость поглощения (общая сумма поглощенных его катионов, выраженная в Ca) может опускаться ниже 0,05%, тогда как в нижележащих слоях она может достигать величины около 1%.

IV. ЛАТЕРИТНЫЙ ТИП ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Еще более благоприятные условия для образования ненасыщенности и для разрушения поглощающего ненасыщенного комплекса должны иметь место в тех климатических зонах, где благодаря высокой температуре даже значительно большее количество выпадающих атмосферных осадков не приводит еще к заболачиванию и где благодаря тем же метеорологическим условиям разложение органического вещества идет особенно быстро, вследствие чего просачивающиеся через почву воды очень богаты углекислотой, а значит, и водородным ионом, вытесняющим поглощенные основания; это имеет место во влажных тропических и субтропических странах, т. е. в почвах оптимального увлажнения, в латеритах, красноземах и желтоземах означенных областей. И здесь, конечно, не-

Состав поглощенных катионов краснозема из бывш.

Горизонт, глубина, *см*	Содержание в почве поглощенных катионов, %			Содержание в почве поглощенных катионов, *мг-экв*			Емкость, поглощения, *мг-экв*
	H	Ca	Mg	H	Ca	Mg	
A+A₁ 0—14	0,0114	0,040	0,050	11,4	2,0	4,2	17,6
B 14—45	0,0085	0,018	0,013	8,5	0,9	1,1	10,5
C 40—80	0,0093	0,016	0,031	9,3	0,8	2,6	12,7
D₁ 95—135	0,0096	0,012	0,027	9,6	0,6	2,3	12,5
D₂ 135—175	0,0082	0,010	0,026	8,2	0,5	2,2	10,9

* Определение поглощенных катионов принадлежит автору, а SiO_2 и Al_2O_3 в щелочной вытяжке

посредственных данных о величине поглощающего комплекса и составе поглощенных оснований еще очень мало, но имеющиеся косвенные указания и очень немногочисленные пока исследования поглощающего комплекса вполне подтверждают сказанное. Я приведу для примера результаты послойного исследования краснозема из Чаквы (табл. XXII).

Данные указывают на очень малое содержание во всех слоях краснозема поглощенных оснований; больше всего их, как и нужно было ожидать, в гумусовом горизонте, поглощающий комплекс которого содержит и гуматную часть; вместе с тем, исследовавшийся краснозем в довольно сильной степени ненасыщен основаниями; водородный ион в количественном отношении здесь преобладает над остальными поглощенными катионами. Приведенные в таблице данные анализа щелочной и слабосолянокислой вытяжки показывают на значительно большую растворимость глинозема сравнительно с кремнеземом как в щелочной, так и в слабо кислой среде, что дает право говорить о присутствии здесь свободных гидратов окиси алюминия. Совершенно подобные же соотношения показал имевшийся в нашем распоряжении краснозем из Озургет.

Исследование желтозема с острова Явы показало нам, что и эта почва во всех ее исследованных слоях (до глубины 1 *м*) насыщена основаниями, но в очень слабой степени. Ее поглощающий комплекс достигает, как видно из табл. XXIII, заметной величины лишь в самом верхнем слое (0—10 *см*), очень богатом органическими веществами; в нижележащих слоях он уже сильно разрушен.

И общие соображения, и приведенные выше данные заставляют сблизить между собою почвы подзолистые и субтропические и тропические, как образующиеся вследствие достаточного увлажнения, в условиях, дающих возможность вступлений в поглощающий комплекс почвы водородного иона; различие между ними, во-первых, в интенсивности этого процесса и связанной с ним степени разложения алюмосиликатной части комплекса; во-вторых, в величине органической части поглощающего комплекса;

Таблица XXII

Чаквинского удельного имения *

Содержание погл. катионов, % от емкости			Извлекаемые 0,05 н. HCl, %		Извлекаемые 5%-ной KOH, %	
H	Ca	Mg	SiO_2	полуторные окислы	SiO_2	Al_2O_3
65	11,4	23,6	0,064	1,020	1,01	2,26
81	8,6	10,4	0,060	1,154	1,24	3,14
74	6,3	19,7	0,074	0,704	0,79	2,12
77	5,0	18,0	0,116	0,604	0,92	2,17
75	5,0	20,0	0,120	0,660	1,17	2,27

— А. А. Роде.

в-третьих, в том, что благодаря отсутствию заболачивания и застоя воды вообще и большего ее количества, а также быстроте разложения органических остатков, процесс образования ненасыщенности и распада алюмосиликатной части поглощающего комплекса, резко проявляющийся в почвах подзолистых лишь в самых поверхностных слоях, в почвах латеритного характера распространяется гораздо дальше вглубь.

В-четвертых, не вполне одинакова здесь и там судьба продуктов распада алюмосиликатного комплекса; кремнекислота в обоих случаях вымывается; что же касается глинозема и железа, то, как мы видели выше, в подзолистых почвах имеется лишь тенденция к выпадению их, осуществляемая в отношении глинозема в очень слабой степени, для окиси железа в большей степени, но

Таблица XXIII

Состав поглощенных катионов в желтоземе с острова Явы
(анализ автора)

Глубина, *см*	Содержание в почве поглощенных катионов, %		Содержание в почве поглощенных катионов, *мг-экв*		Емкость поглощения, *мг-экв*	Содержание погл. катионов, % от емкости		Извлекаемые 0,05 н. HCl, %		Извлекаемые 5%-ной KOH, %	
	Ca	Mg	Ca	Mg		Ca	Mg	SiO_2	полуторные окислы	SiO_2	Al_2O_3
0—10	0,731	0,139	36,5	11,6	48,1	75,8	24,2	0,17	1,10	2,18	1,14
30—35	0,100	0,026	5,0	2,2	7,2	69,4	30,6	0,32	1,26	1,25	4,75
45—50	0,051	0,026	2,5	2,2	4,7	53,2	46,8	0,38	1,24	1,13	5,70
65—70	0,050	0,016	2,5	1,3	3,8	65,8	34,2	0,41	1,25	1,24	5,27

лишь в горизонте иллювиальном; в красноземах же и латеритах то и другое в больших количествах осаждается уже в местах их освобождения из алюмосиликатного комплекса; здесь так же как и в подзолистых почвах, слабо кислая реакция почвенного раствора вызывает малую устойчивость коллоидально растворенных гидроокисей алюминия и железа, но здесь, кроме того, имеются налицо факторы, свертывающие эти золи и переводящие выпавшие гели в труднообратимое состояние. Из первых наиболее существенную роль играют катионы кальция и магния почвенного раство-

ра; концентрация их в почвенном растворе почв оптимального увлажнения, пока в этих почвах поглощенный кальций и магний сохранялись еще в поглощающем комплексе, должна была быть значительно выше, чем в подзолистых почвах, так как вытесняющая деятельность водородного иона в первых значительно выше, чем во вторых; в том же направлении влияет в красноземах и латеритах быстрая минерализация громадных количеств органических остатков.

Выпавшие вследствие коагулирующего действия электролитов полуторные окислы подвергаются действию высокой температуры и переводятся поэтому в такое состояние, при котором они не могут уже при действии на них воды давать системы достаточно высокой степени дисперсности для того, чтобы свободно фильтроваться через почву в нижние слои.

Наконец, существенное различие, но также лишь количественного, а не качественного характера между этими двумя типами почвообразования заключается в той быстроте, с которой неколлоидальная алюмосиликатная часть почвы под влиянием воздействия внешних факторов распыляется в коллоидальный поглощающий комплекс; в почвах латеритного типа почвообразования процесс этот должен идти гораздо быстрее, нежели в почвах подзолистой зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все вышеизложенное можно кратко резюмировать в следующей схеме с главнейшими свойствами поглощающего комплекса в каждом типе почвообразования.

I. ПОЧВЫ, НЕ СОДЕРЖАЩИЕ В ПОГЛОЩАЮЩЕМ КОМПЛЕКСЕ ПОГЛОЩЕННОГО ВОДОРОДНОГО ИОНА (ПОЧВЫ, НАСЫЩЕННЫЕ ОСНОВАНИЯМИ)

1. Почвы, содержащие в поглощающем комплексе поглощенный кальций, а на втором месте — поглощенный магний. Поглощающий почвенный комплекс представляет агрегаты первичных коллоидальных частиц, размеры этих агрегатов вообще больше 0,1 *мкм*; агрегаты эти настолько прочны, что чрезвычайно слабо распыляются при действии воды; чрезвычайно слабо выражено также и растворяющее и химически разлагающее действие воды; поглощающий комплекс по сравнению с комплексами с иными поглощенными катионами обладает особой прочностью. Гуматная часть комплекса относительно велика. Черноземный тип почвообразования.

2. Почвы, содержащие в поглощающем комплексе кроме кальция и магния поглощенный натрий. В почвах с таким поглощающим комплексом можно различать три последовательные стадии эволюции:

а) 1-я стадия; почвы, засоленные растворимыми натриевыми солями. Свойства поглощающего комплекса, придаваемые ему присутствием пог-

лощенного натрия, не проявляются. Солончаки и солончаковые почвы.

в) 2-я стадия; почвы, содержащие растворимые соли лишь в таких небольших количествах, при которых полностью может проявиться присутствие натрия в поглощающем комплексе. Поглощающий комплекс по своему отношению к воде представляет прямую противоположность поглощающему комплексу черноземного типа: и распыляющее, и растворяющее, и химически разлагающее действие воды проявляется здесь очень сильно, значительно сильнее, чем на какой-либо другой поглощающий комплекс. Солонцы, солонцеватые почвы.

Между 1-й и 2-й стадиями могут быть всевозможные переходы в зависимости от состояния засоления, в той или другой степени препятствующего проявлению свойств поглощающего комплекса с поглощенным натрием.

с) 3-я стадия; из поглощающего комплекса удален поглощенный натрий,— почва осолодилась; при этом можно различать два случая:

А. Солонцеватая почва не содержала углесолей щелочноземельных металлов; тогда полное удаление поглощенного натрия сопутствуется полным удалением той части поглощающего комплекса, которая насыщена натрием; получающаяся солодь будет отличаться по величине своего поглощающего комплекса от первоначальной солонцеватой почвы в такой степени, в какой последняя была солонцеватой.

В. Солонцеватая почва содержала щелочноземельные карбонаты; в этом случае при осолодении бо́льшая или меньшая часть поглощающего комплекса, насыщенного натрием, не разрушается, а переходит в насыщенную кальцием и магнием, и получившаяся осолодевшая почва будет по величине своего поглощающего комплекса значительно меньше отличаться от первоначальной солонцеватой, чем в случае отсутствия углесолей кальция и магния.

Между 2-й и 3-й стадиями также могут встречаться всевозможные переходы в зависимости от степени осолодения.

II. ПОЧВЫ, СОДЕРЖАЩИЕ В ПОГЛОЩАЮЩЕМ КОМПЛЕКСЕ ПОГЛОЩЕННЫЙ ВОДОРОД (ПОЧВЫ, НЕНАСЫЩЕННЫЕ ОСНОВАНИЯМИ)

Поглощающий комплекс по своей распыленности и разрушаемости водою занимает среднее место между комплексом, содержащим только поглощенные кальций и магний, и комплексом с поглощенным натрием. В этих почвах определенно констатируется новообразование поглощающего минерального комплекса из его составных частей.

1. Почвы с резко выраженным разрушением поглощающего комплекса во всей почвенной толще, с обильным накоплением гидратов окиси железа и алюминия во всей почвенной толще и с сильным обеднением кремнекислотой. Латеритный тип почвообразования.

2. Почвы с резко выраженным разрушением поглощающего комплекса лишь в горизонтах A_1 и A_2: в горизонте A_1 относительно большое накопление гуматной части; накопление гидратов окиси железа имеет место главным образом в горизонте B; гидраты окиси алюминия, по-видимому, также накопляются, но в очень ограниченных количествах; кремнекислота, как продукт распада алюмосиликатного поглощающего комплекса, вымывается, но соответственно с более слабым разрушением этого комплекса, происходящим при этом только в поверхностных слоях почвы, относительное обеднение почвы ею значительно меньше, чем в латеритном типе *. Подзолистый тип почвообразования.

Таковы в самых общих чертах основы почвенной классификации, базирующейся на свойствах поглощающего почвенного комплекса; многое из вышеизложенного имеет еще чисто спекулятивный характер, могущий не подтвердиться дальнейшими исследованиями; я вполне это сознаю и вместе с тем все-таки считаю полезным поделиться высказанными соображениями с интересующимися вопросами почвенной классификации, так как надеюсь, что эти соображения будут толчком для разработки вопроса в указанном направлении, в плодотворности которого я совершенно убежден.

Я наметил лишь самые крупные классификационные единицы; и для дальнейшего их дробления поглощающий комплекс, вероятно, может дать ценные классификационные признаки: кое-что уже и сейчас можно было бы сделать в этом направлении, но это было бы слишком отрывочно и мало интересно; сейчас отмечу лишь одно обстоятельство, благодаря которому почвенная классификация, построенная на предлагаемом принципе, приобретает еще одно очень существенное преимущество перед всеми другими; я имею в виду сближение такой генетической классификации с классификацией по механическому составу: почвенный поглощающий комплекс есть одна из механических фракций почвы; те свойства, которыми обладает эта ультрамеханическая фракция и которые существенны в классификационном отношении, приписываются только ей по чисто формальным причинам количественного характера; но несомненно, что эти свойства, во-первых, в самой этой фракции постепенно количественно изменяются с величиной зерна этой фракции и, во-вторых, они присущи, хотя и в гораздо меньшей степени, и более крупным, неколлоидальным фракциям. Эти соображения позволяют мне надеяться, что при достаточном изучении вопроса можно будет иметь такую классификацию,

---

* Латериты отличаются от подзолистых почв содержанием валовой кремнекислоты: в латеритах ее мало, в элювиальных же горизонтах подзолистых почв она даже относительно других слоев накопляется; это объясняется тем, что в области оптимального увлажнения идет чрезвычайно быстро распыление неколлоидальных механических фракций до коллоидальных размеров; процесс этот в подзолистой зоне выражен, конечно, во много раз слабее, и поэтому именно здесь происходит в горизонте вымывания относительное обогащение почвы более крупными механическими фракциями и вследствие этого уже и валовой кремнекислотой.

в которой генетические признаки будут тесно связаны с механическим составом почвы.

Я не коснулся вовсе почв грунтового увлажнения северных областей, так как они вообще мало изучены, а с химической стороны и особенно в отношении поглощающего комплекса и вовсе нам неизвестны.

Таким образом, даже в отношении таких крупных классификационных единиц, как почвенные типы, соответствующего аналитического материала имеется еще недостаточно, а об единицах более мелких и говорить не приходится; тем более, что последние для многих типов даже морфологически изучены очень мало.

Наиболее больным местом почвоведения как в отношении классификации, так и для целого ряда других вопросов, я считаю почти полную неизученность почвенных органических веществ; нарочито говорю не о гумусе, а именно об органическом веществе почвы, ввиду совершенно неопределенной границы между гумусом и остальными органическими веществами почвы (имею в виду естественные почвы) и громадной роли в процессах почвообразования именно этой остальной части «не гумуса».

Нужно сознаться, что, несмотря на сравнительно очень большое количество работ по этому вопросу, наши познания здесь чрезвычайно слабы и отрывочны; мне кажется, что тот путь, который в свое время дал ряд положительных результатов, исчерпан уже до конца; нужно его менять. Каков этот новый путь — сказать, конечно, трудно; он может быть намечен лишь в процессе самой работы над органическими веществами почвы. Мне лично намечается сейчас путь фракционного изучения этих веществ, как наиболее плодотворный при настоящем состоянии вопроса; а именно, изучение с количественной стороны и со стороны элементарного состава, а также попытка подхода к разделению на отдельные химические соединения различных механических фракций органического вещества почвы.

Мы имеем теперь общий метод разбития как минеральных, так и органических почвенных агрегатов на более мелкие составляющие их частички (может быть, и не первичные еще, но во всяком случае значительно более мелкие, нежели первоначально существующие в почве) без какого-либо нарушения самой химической природы органического вещества. Я имею в виду насыщение почвы натрием обработкой ее хлористым натрием с последующим удалением остатков его из почвы диализом; из такой почвы вся «гуматная» часть может быть затем выщелочена водой и изучена пофракционно. Само собой разумеется, что без количественного и качественного изучения гуматной части, например в черноземах, невозможно построение более или менее детальной классификации черноземов по их поглощающему комплексу, да и вообще и на всякой другой основе.

Указанный прием фракционного изучения органической части почвы с успехом может быть применен и для изучения минеральных соединений в почве; в этом случае более подходит насыщение почвы не нат-

рием, а литием; тогда, по-видимому, распыление почвенных агрегатов до коллоидальных частиц более сильное; а главное — введение лития в почву не препятствует изучению состояния натрия в почве. Мне думается, что очень дробным фракционированием почвы и главным образом ее ультрамеханической части скорее, чем каким-либо другим способом, можно подойти и к разрешению вопроса о составе отдельных минеральных веществ почвы.

Предварительное насыщение почвы натрием или литием мы бы рекомендовали и при минералогическом исследовании почв; это значительно упростило бы само исследование и несомненно дало бы возможность глубже осветить минералогический состав различных механических фракций.

К ВОПРОСУ ОБ ОБМЕННОМ ВОДОРОДЕ И ОБМЕННОМ АЛЮМИНИИ В КИСЛЫХ ПОЧВАХ [1]

Если взять, с одной стороны, кислую естественную почву (подзолистую или латеритную) и кислую, искусственно полученную моим методом обработки, например нейтрального чернозема 0,05 н. соляной кислотой (такая почва названа мной почвой, не насыщенной основаниями, а впоследствии, по выяснении причины ее кислотности, почвой, содержащей обменный водород), а с другой стороны, почву, насыщенную алюминием (заменой всех ее обменных катионов на алюминий с помощью обработки почвы раствором хлористого алюминия), то такие три почвы будут в некоторых отношениях иметь общие свойства: pH водных вытяжек и почвенного раствора у них будет меньше 7, pH вытяжек растворами нейтральных солей будет значительно меньше, чем pH водных вытяжек, и в эти солевые растворы из всех этих почв будет переходить алюминий (полуторные окислы). Переход в раствор солевых вытяжек алюминия из кислых почв послужил Daikuhara и его последователям основанием принять, что причиной кислотности почв является присутствие в них обменного алюминия, иными словами, уподобить эти почвы почвам, искусственно насыщенным алюминием. Как мы видели выше, формальное основание к этому имелось.

Когда я в самом начале своих работ по изучению поглотительной способности почв натолкнулся на тот факт *, что все достаточно оподзоленные почвы даже тогда, когда водные их вытяжки имели нейтральную реакцию (качественная проба), с растворами нейтральных солей дают кислые вытяжки, то, сопоставляя это с условиями генезиса подзолистых почв, я пришел к выводу, что в этих почвах происходит обмен катионов взятой соли на содержащийся в почве водород. Когда далее в ходе своих исследований явлений обмена в почве я экспериментально доказал, что все катионы-металлы могут вступать в поглощающий комплекс почвы, становясь там на место природных обменных катионов, то совершенно естественно, я стал искать способа ввести в почву водородный ион вместо обменного металла-катиона, так как никакой принципиальной разницы между катионами-металлами и катионами водорода, разумеется, нет.

---

[1] Воспроизводится по статье, напечатанной в сборнике «Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение». М.— Л., Сельхозгиз, 1935.

* *К. Гедройц.* На каких почвах действует фосфорит. Почвы, насыщенные и ненасыщенные основаниями.— Журн. оп. агр., т. 12, 1911.

Для меня было ясно, что все дело в том, чтобы найти подходящий метод, подходящую кислоту, при обработке которой почва возможно мало разрушалась бы *. Такой метод был найден мною в виде обработки почвы соляной кислотой и выше 0,05 н. **. Такая обработка даже до полного вытеснения обменных оснований почвы разрушает нейтральные и щелочные почвы очень слабо. Полученную таким образом почву я по аналогии с подзолами назвал почвой, ненасыщенной основаниями, или почвой, насыщенной водородным ионом.

Принимая во внимание ход выщелачивания почвы при такой обработке и возможную концентрацию алюминия (полуторных окислов) в промывающей жидкости и соотношение ее с концентрацией водородного иона в той же жидкости, я считал и считаю, что допустить вхождение алюминия как одного из продуктов разрушающего на почву действия 0,05 н. кислоты в поглощающий почвенный комплекс чернозема, первоначально, без сомнения, не содержавшего обменного алюминия, нет никаких оснований. Но все-таки прямого доказательства того, что в естественных кислых почвах, «ненасыщенных основаниями», обменным катионом является именно водород, у меня до последнего времени не было, и оставался открытым вопрос, откуда в почве, полученной таким образом после обработки 0,05 н. HCl (а также в естественных оподзоленных почвах), берется тот алюминий, который в дальнейшем вытесняется катионами растворов нейтральных солей.

Нужно иметь в виду, что то небольшое разрушение почвы, которое имеет место при приготовлении моим методом почвы, ненасыщенной основаниями, идет преимущественно в конце промывания почвы кислотой, а главным образом уже при отмывании почвы от оставшейся в ней соляной кислоты. Если этого отмывания не производить, то разрушение почвы самое ничтожное. И все-таки при промывании растворами нейтральных солей такой почвы, искусственно превращенной в ненасыщенную основаниями, из почвы вымывается алюминий.

Теперь мы имеем возможность установить происхождение алюминия. Нижеследующий опыт определенно показывает, что алюминий, вымываемый из почвы, ненасыщенной основаниями, является продуктом разрушения алюмосиликатной части почвенного поглощающего комплекса в *период промывания ненасыщенной почвы раствором нейтральной соли* вследствие разрушающего действия той же кислоты, которая освобождается при реакции взаимного обмена между катионом взятой соли и обменным

* Применявшаяся мною раньше для этой цели углекислота (см. мою статью «Еще о почвах, на которые действует фосфорит». Журн. оп. агр., 1911, т. XII) переводила почву из насыщенного в ненасыщенное состояние, но, во-первых, способ этот требовал очень продолжительной обработки, а главное, и после продолжительной обработки ненасыщенность получалась ничтожной, а для доказательства равноправия водородного иона с остальными катионами в отношении возможности обмена и для изучения хода обмена нужно было получить почву, емкость обмена которой была бы насыщена водородом.

** *К. Гедройц*. Почвы, ненасыщенные основаниями.— Журн. оп. агр., т. 22, 1931, стр. 1.

водородом ненасыщенной почвы; для этого разрушения в этом случае имеются благоприятные условия: с одной стороны, концентрация освобождающейся кислоты в области почвы может при этом промывании достигать заметной величины, а с другой стороны, продукты разрушения быстро уносятся из области почвы промывающей жидкостью. Доказать это нам удалось применением нашего углекислого метода определения емкости обмена *.

Две навески насыщенного основаниями чернозема по 5 *г* каждая переводились в ненасыщенное состояние промыванием почвы на воронке 0,05 н. соляной кислотой; по окончании полного вытеснения обменных оснований одна из навесок смывалась водой с фильтра в чашечку и тщательно смешивалась с 1 *г* $CaCO_3$; жидкость после этого отфильтровывалась через ту же воронку, и вся почва из чашки снова собиралась на фильтре. Затем обе навески на воронках (одна не смешанная с $CaCO_3$, а другая смешанная с ним) промывалась 1,0 н. раствором хлористого натрия для насыщения почвы натрием. Промывные воды из воронки, содержавшей ненасыщенную основанием почву, были кислы (вытеснение натрием водородного иона), а вытекавшие из воронки с ненасыщенной почвой, но смешанной предварительно с $CaCO_3$, были с самого начала щелочными. Ясно, что во втором случае вся ненасыщенность была нейтрализована при смешении почвы с $CaCO_3$.

Таким образом, если разрушение почвы происходит при промывании ненасыщенной почвы раствором хлористого натрия, то в том случае, когда почва перед промыванием раствором хлористого натрия смешивалась с углекислым кальцием, промывание хлористым натрием не должно было разрушать алюмосиликатного поглощающего комплекса. В обоих случаях промывание раствором хлористого натрия производилось одинаковыми порциями каждый раз и в общем одинаковым объемом раствора, а именно, мы промывали обе воронки до тех пор, пока фильтрат из воронки с ненасыщенной почвой без мела не становился совершенно нейтральным.

После этого навески вместе с фильтрами переносились в стеклянные банки с притертыми пробками; в банку с навеской, в которую не прибавлялся углекислый кальций, вносился 1 *г* его; приливалось затем в каждую банку по 1 *л* дистиллированной воды, взбалтывалось и в течение 3 часов при частом взбалтывании пропускался ток углекислоты. Вытесненный из почвы кальцием натрий в виде углекислого натрия определялся объемным методом (титрование соды после тщательного отделения $CaCO_3$). Вот результаты для одного чернозема (в *мг-экв*):

Емкость поглощения первоначального чернозема	52,0
Она же в ненасыщенном основаниями черноземе после насыщения его Na без прибавления $CaCO_3$	33,6
Она же в ненасыщенном основаниями черноземе при насыщении его Na после прибавления $CaCO_3$	48,6

* Метод описан в «Изв. ГИОА», 1929, т. 7, № 5.

Результаты показывают, что в том случае, когда обработка ненасыщенной основаниями почвы раствором нейтральной соли ведется в таких условиях, что не происходит образования свободной соляной кислоты, емкость обмена получается почти такая же, как и у первоначальной почвы; она уменьшилась лишь на 3,4 *мг-экв*, или на 6,5% первоначальной величины; это уменьшение емкости надо отнести на разрушение алюмосиликатного поглощающего комплекса чернозема при переводе его в ненасыщенное основаниями состояние.

Совершенно другая картина получается, когда ненасыщенная основаниями почва насыщается натрием в отсутствие углекислого кальция, т. е. в условиях освобождения из хлористого натрия соляной кислоты; после такой обработки емкость обмена почвы упала до 33,6 *мг-экв*, или на целых 36,8%. Результат ясно показывает, что разрушение алюмосиликатного поглощающего комплекса ненасыщенной почвы происходит не тогда, когда почва переводится из насыщенной в ненасыщенную, а почти исключительно уже после, когда полученная ненасыщенная основаниями почва обрабатывается растворами нейтральных солей; вот источник того алюминия, который констатируется в растворах при вытеснении обменных катионов из ненасыщенной основаниями почвы обработкой почвы растворами солей; это — не обменный алюминий, а алюминий — продукт разрушающего действия на почвенный поглощающий комплекс той кислоты, которая освобождается из соли вследствие обмена ее катиона на поглощенный водород почвы.

Таким образом, доказательство того, что главная масса алюминия освобождается из алюмосиликатной части почвы не во время перевода почвы обработкой кислотой в ненасыщенное состояние, а во время обработки полученной ненасыщенной почвы растворами нейтральных солей, попутно опровергает допущение, что причиной кислотности ненасыщенной почвы является обменный алюминий (полуторные окислы); если же не алюминий (полуторные окислы), то остается только обменный водород. У нас имеется еще одно еще более убедительное и более прямое доказательство этому — доказательство совсем иного порядка. В последнее время нами были проведены вегетационные опыты для выяснения отношения растений к почве, обменная емкость которой была насыщена разными катионами. Для опыта был взят тучный чернозем (пахотный горизонт), который полностью насыщался тем или другим катионом обработкой раствором хлорида этого катиона; почва затем промывалась водой до полного удаления хлор-иона, высушивалась и поступала в опыт.

Между прочим, с помощью обменных катионов исследовалось отношение растения к почве, насыщенной Al, Fe, и к почве, ненасыщенной основаниями (насыщенной H).

Опыты ставились в маленьких цинковых сосудах на 600 *г* почвы, в почву вносились удобрения по следующей схеме:

2 сосуда, удобренные N, P, K и Mg.

2 сосуда, удобренные N, P, K и Mg и 10 *г* $CaCO_3$.

Опытным растением служил овес, который был убран в зрелом состоянии.

Мы здесь остановимся только на данных, полученных на первоначальной почве, на почве, превращенной в ненасыщенную основаниями обработкой 0,05 н. соляной кислотой, на почве, насыщенной алюминием (обработкой раствором $AlCl_3$), и на почве, насыщенной железом (обработкой раствором $FeCl_3$).

Вот полученные в этом опыте урожаи (среднее из двух параллельных сосудов) в граммах на сосуд:

Виды чернозема	Удобрение	Урожай		
		зерна	соломы	общий
Чернозем первоначальный (обменные Ca и Mg)	N, P, K, Mg	1,44	4,51	5,95
	То же + 10 г $CaCO_3$	1,45	4,14	5,59
Чернозем, ненасыщенный основаниями (обменный $H^{\cdot}$)	N, P, K, Mg	0	0,21	0,21
	То же + 10 г $CaCO_3$	1,61	4,10	5,72
Чернозем, насыщенный алюминием (обменный $Al^{\cdots}$)	N, P, K, Mg	0	0,24	0,24
	То же + 10 г $CaCO_3$	0,81	1,80	2,61
Чернозем, насыщенный железом (обменный $Fe^{\cdots}$)	N, P, K, Mg	0	0	0
	То же + 10 г $CaCO_3$	0,23	0,77	1,00

Мы видим, что на черноземе, обработанном 0,05 н. соляной кислотой до полного вытеснения его обменных оснований, и на почвах, насыщенных $Al^{\cdots}$ и $Fe^{\cdots}$, по полному удобрению без $CaCO_3$ овес или вовсе не рос (почва, насыщенная Fe) или дал совсем ничтожный урожай; очевидно, почвы эти заключали в себе вредные вещества, появившиеся в них в результате произведенных над черноземом обработок. Прибавка углекислого кальция улучшает рост овса во всех трех случаях. Но в то время как углекислый кальций повышает урожай на черноземе, переведенном в ненасыщенное состояние, до той же величины, какая получалась на первоначальном черноземе (около 6 г на сосуд), на почве, насыщенной алюминием, и на почве, насыщенной железом, по углекислому кальцию урожай далеко не достигает этой величины.

Из этих данных совершенно ясно, что почва, в действительности насыщенная алюминием (железом), чем-то существенно отличается от почвы, обработанной 0,05 н. соляной кислотой; совершенно очевидно, что различие может заключаться лишь в неодинаковом обменном катионе в той и другой почве; оба эти катиона ядовиты для растения, но в то время как $CaCO_3$ совершенно уничтожает ядовитость свойств почвы, обработанной 0,05 н. соляной кислотой, и превращает эту почву в отношении действия ее на растение в совершенно аналогичную первоначальному чернозему, почву, насыщенную алюминием, это вещество улучшает только лишь частично. Сопоставляя сказанное, приходится сделать единственно возмож-

ный вывод, что в почве, обработанной 0,05 н. HCl, в поглощенном состоянии нет алюминия, который ядовит для растений (та ядовитость не может быть, понятно, уничтожена углекислым кальцием), и что в этой почве мы имеем дело с обменным водородом, тоже ядовитым для растения, но ядовитость которого должна совершенно уничтожиться достаточным количеством углекислого кальция *.

Мы считаем, что выясненное нами выше происхождение алюминия, который появляется в растворе при промывании солевыми растворами почв, предварительно обработанных 0,05 н. соляной кислотой, и приведенное физиологическое доказательство присутствия в этих почвах именно обменного водородного иона окончательно решают вопрос о природе кислых почв: это — почвы, действительно ненасыщенные основаниями, т. е. содержащие обменный водород; водородный ион так же способен обмениваться с поглощенными катионами почвы, как и всякий другой катион.

Рассмотренный здесь вопрос имеет не только большое теоретическое значение для познания почвенных процессов, но может предоставлять по моему мнению и практический интерес. Дело в том, что, как мной и раньше отмечалось, нельзя отрицать того, что при особых местных условиях почвообразования могут возникать не только почвы, содержащие обменный водород, но и почвы с обменным алюминием, т. е. тоже кислые почвы, но существенно иного характера. Так вот, если почвы с поглощенным водородом могут быть доведены известкованием до урожайности такой величины, какая должна была бы быть у этих почв в том случае, когда они содержали бы в своем поглощающем комплексе только обменные кальций и магний, то достичь этого одним известкованием в кислых почвах, содержащих обменный алюминий, очевидно, невозможно; известкование и в этом случае даст положительный результат, так как оно уничтожит возможность кислой реакции почвенного раствора, но не уничтожит второго вредного начала этих почв — алюминия.

Для полной мелиорации таких почв необходимо выработать кроме известкования другие приемы мелиорации, а прежде всего нужно разработать простой и достоверный метод распознавания этих почв.

Кисловодск, март, 1930 г.

---

* Одно из существенных различий между обменным водородом почвы и всеми другими вредными растениям обменными катионами почвы и заключается в том, что первый из них вследствие летучести и ничтожной электролитической диссоциации угольной кислоты может быть внесением углесолей и свободных гидратов окисей почти нацело удален из области почвы, в то время как другие вредные обменные катионы не удаляются из области почвы внесением каких-либо веществ

ДЕЙСТВИЕ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА НА ПОЧВУ [1]

В последние годы был сделан ряд попыток применения перекиси водорода как окислителя почвенных органических веществ к разрешению некоторых почвенных проблем.

Так, А. Н. Соколовский * в своих исследованиях явлений поглощения в почве сделал попытку применить окисление гумуса перекисью водорода к определению участия гумуса в реакции обмена кальция почвы на аммоний хлористого аммония; им же первым была применена перекись водорода ** для уничтожения гумуса как цемента, связывающего почвенные илистые частички (ил «активный» и «пассивный»), и сделана попытка непосредственного определения гумуса в почвах удалением его перекисью водорода ***. В 1922 г. G. W. Robinson вводит в механический анализ почвы обработку почвы перекисью водорода как предварительную подготовку почвы к анализу ****; в 1925 г. им же был предложен метод обработки почвы перекисью для определения степени гумификации органических веществ в почве *****.

В 1927 г. W. O. Robinson ****** опубликовал разработанный им метод определения гумуса обработкой почвы перекисью водорода.

В 1928 г. Kerr ******* в своих исследованиях явлений обмена в почве применил обработку перекисью водорода для определения участия гумуса в этих явлениях.

---

[1] Воспроизводится по статье, напечатанной в журнале «Удобрение и урожай», 1931, № 9—10.

* *Н. А. Соколовский.* Из области явлений поглощения в почве.— Журн. оп. агр., т. 15, 1914, стр. 67.

** *Н. А. Соколовский.* Из области явлений, связанных с коллоидальной частью почвы.— Изв. Петровской с.-х. академии, 1919, стр. 85.

*** *Н. А. Соколовский.* Учет потребности почв в извести и новый метод химико-механического анализа почв.— Труды НИУ, вып. 13, 1923.

**** *G. W. Robinson.* Note on the Mechanical Analysis of Humus Soils.— Soil Agr. Sci., v. 12, 1922, p. 287.

***** *G. W. Robinson, J. O. Jones.* A method for determining the degree of humifications of soil organic matter.— Soil Agr. Sci., v. 5, 1925, p. 26.

****** *W. O. Robinson.* The determination of organic matter in soils by means of hydrogen peroxide.— J. Agric. Res., v. 34, 1937, p. 339. Дальнейшее исследование этого метода см. *Н. Вернандер.* До методики визначати гумус у грунти.— Тр. н.-д. кат. грунтознавства, т. 1, 1930, стр. 199.

******* *H. W. Kerr.* The nature of base exchange and soil acidity.— J. Amer. Soc. Agr., v. 20, 1928, p. 309.

Наконец, в только что полученной мною работе Mc. George * мы имеем материал по влиянию обработки почвы перекисью водорода на емкость обмена минеральной части почвы. Все означенные работы, исключая последнюю (о ней мы скажем в своем месте), носят характер лишь предварительный, так как ни в одной из них мы не находим исследования действия перекиси водорода на почву вообще. Ни один из затронутых авторами вопросов не может быть разрешен и должным образом обоснован без систематического и всестороннего изучения этого действия, так как обработка перекисью водорода, как мы увидим ниже, вносит ряд существенных изменений в почву. Ниже излагаемое и представляет собою материалы, недостаточно еще полные, по этому вопросу.

Ряд соображений давно уже побуждал меня заняться изучением действия на почву перекиси водорода, с одной стороны — как нейтрального окислителя, а с другой стороны — как окислителя, не вносящего в почву соединений, не удаляющихся простым нагреванием. Главнейшими из таких соображений были следующие.

1. Необходимость найти такой способ удаления из почвы органических ее веществ, если не нацело, то в большей их части, при котором возможно меньше изменялись бы свойства минеральной части почвы; возможность удалить гумус из почвы безболезненно для ее минеральной части, чрезвычайно существенная для изучения свойств этой минеральной части, которые в присутствии гумуса, конечно, иные, чем в его отсутствие, и изучение которых нам до сих пор еще в отдельности недоступно; с другой стороны, такое удаление гумуса из почвы дало бы нам возможность подойти к экспериментальному изучению влияния гумуса и его различных количеств на свойства почвы вообще и на физические и биологические свойства в частности; целый ряд вопросов, имеющих насущное значение для практики земледелия и для теории почвоведения, к которым мы сейчас можем лишь подходить всякими косвенными путями, основываясь на проблематических часто соображениях, с нахождением такого окислителя получили бы реальную возможность изучения.

2. Указанный способ удаления органических веществ почвы позволил бы нам подойти ближе к изучению зольных элементов гумуса и к выработке методов определения отдельных элементов гумуса.

3. Наконец, изучение действия такого окислителя на гумус почвы дало бы нам много ценных указаний на ход процесса окисления гумуса в естественных условиях почвы; всякий даже небольшой намек в этой до сих пор очень темной области может иметь большое значение.

Свои работы с действием перекиси водорода на почву я начал еще в 1915 г., но должен был их скоро прекратить за невозможностью достать этот реактив. В этом исследовании я обратил внимание прежде всего на влияние обработки почвы перекисью водорода на обменные реакции почвы; невозможность, с одной стороны, провести исследование в должном объеме вследствие недостатка перекиси водорода, а с другой стороны,

* *W. T. Mc. George.* The base exchange property of organic matter in soils.— Univ. of Arisona, Bull. N 30, 1930.

отсутствие в то время подходящего метода исследования емкости обмена ограничили мое исследование испытанием действия раствором хлористого аммония на один только образец почвы, обработанный перекисью водорода; в результате я констатировал, что хлористый аммоний извлекает из почвы после ее обработки перекисью водорода значительно меньше кальция, нежели из первоначальной почвы (почва была бескарбонатной и содержала около 10% гумуса); считая, что минерализовавшийся из органического вещества почвы кальций должен был целиком раствориться во взятом хлористом аммонии, я сделал предположение, что под действием перекиси водорода, по-видимому, понижается обмен кальция минерального поглощающего комплекса *.

Как мы увидим ниже, дальнейшее детальное изучение действия перекиси водорода на почву вполне подтвердило факт понижения количества кальция, извлекаемого из почвы солевыми растворами после обработки ее перекисью водорода, но вместе с тем выяснило, что это понижение происходит не за счет уменьшения объема кальция минерального поглощающего комплекса, т. е. не вследствие ослабления обменной способности этого комплекса под влиянием обработки почвы перекисью водорода, а вследствие трудной растворимости образующихся из гуматного кальция солей кальция при окислении гуматной части перекисью водорода.

Прерванные в 1915 г. исследования действия перекиси водорода на почву нам удалось возобновить в 1929 г. в Лаборатории почвоведения Ленинградского лесного института, а главную часть их провести уже в лаборатории Долгопрудного опытного поля. К изложению этих исследований мы и перейдем.

Прежде всего, что бросилось нам в глаза при исследовании почв, обработанных перекисью водорода,— это большие количества аммонийных солей, извлекаемых из почвы водой и солевыми растворами; так, из тульского тучного чернозема, обработанного перекисью водорода до исчезновения видимых признаков гумуса, водная вытяжка извлекала от 0,124 до 0,141% NH_4 (что на 100 *г* первоначальной, не обработанной перекисью почвы составляет 0,11—0,127% NH_4); вытяжка 1,0 н. раствором хлористого калия извлекала от 0,323 до 444% NH_4, или на первоначальную почву — 0,29—0,399% NH_4.

Было очевидно, что почва, лишенная большей части своего гумуса окислением его перекисью водорода, содержит много водорастворимого аммония, а значит и поглощенного, и что этот аммоний явился следствием окисления перекисью водорода органического азота почвы. Представлялось интересным исследовать этот вопрос дальше. Из того же образца обработанного перекисью водорода чернозема мною был вымыт и вытеснен весь заключающийся в нем аммоний промыванием этой почвы 1,0 н. раствором хлористого натрия и 0,5 н. раствором хлористого калия до исчезновения реакции на аммоний в промывных водах.

* *К. Гедройц.* Материалы к познанию поглотительной способности почв.— Журн. оп. агр., т. 19, 1918, стр. 289.

Определение в собранных водах аммония перегонкой с окисью магния дало следующие результаты. Из раствора хлористого натрия получилось 0,55% NH_4 на обработанную почву, или 0,49% по перечислению на первоначальную почву. Из раствора хлористого калия получилось 0,565% NH_4 на обработанную почву, или 0,508% на первоначальную *.

Первоначальный чернозем содержал 0,475% азота (на воздушно-сухую почву); после же обработки этой почвы перекисью водорода на 100 *г* ее метод Jodlbauer дал 0,52 *г* азота, что по перерасчету на первоначальную почву, не лишенную гумуса, составляет 0,467%. Таким образом, из 0,475% азота, содержавшегося в первоначальном черноземе, в почве после окисления ее гумуса осталось 0,467%, т. е. в пределах ошибки анализа — весь или почти весь азот, причем из этих 0,467% азота 0,395% были в форме аммиака. Исследование показало, что в почве, обработанной перекисью водорода, содержится и азотная кислота, но в очень небольшом количестве, а именно всего 0,094% NO_3 от веса почвы, обработанной H_2O_2, или 0,084% NO_3 от веса первоначальной почвы, что составляет 0,019% N от веса первоначальной почвы. Таким образом, азота в почве, обработанной H_2O_2, в виде аммиачного и нитратного было найдено 0,395 + 0,019 = 0,414% от веса первоначальной почвы. Общего азота, как указывалось выше, в почве, обработанной H_2O_2, было найдено по перечислению на первоначальную гумусовую почву 0,467%, т. е. в этой обработанной почве оказалось 0,057% азота в каких-то иных соединениях, но не в виде аммонийных и нитратных; очень вероятно, это — азот оставшихся недоокисленных органических соединений почвы: непосредственное определение гумуса по Кнопу в этом образце чернозема, обработанного перекисью водорода, показало, что в нем осталось еще 1,94% гумуса ** (об этом подробнее будет сказано ниже).

Итак, на основании исследования вышеозначенного образца чернозема, обработанного перекисью водорода до видимого на глаз удаления гумуса, мы приходим к выводу, что органический азот почвы при этом окислении почти нацело переходит в аммиак, а азотной кислоты образуется очень мало; потери азота при применявшейся обработке не наблюдалось; недостающие же до общего количества азота в почве около 0,05% азота, по-видимому, остались в почве в виде каких-то органических соединений.

Дальнейшие исследования судьбы органического азота при окислении гумуса почвы перекисью водорода мы продолжили с пахотным горизонтом другого образца тучного чернозема, а именно из Каменностепной опытной станции (содержание гумуса в нем — 9,29% **, азота — 0,466% **). Целью этого исследования было выяснить влияние на количество образующегося аммиака: 1) степени обработки почвы перекисью водорода; 2) присутствия углекислого кальция; 3) прокаливания почвы после обработки ее перекисью водорода.

* Все вышеприведенные отдельные определения произведены автором совместно с О. П. Досмановой.

** Анализ А. Н. Вольской

В исследовавшихся образцах кроме общего количества аммиака (дистилляция почвы с окисью магния) определялось: количество оставшегося гумуса по Кнопу (причем предварительным исследованием было установлено, что прибавление к почве даже очень большого количества сернокислого аммония вовсе не влияет на определение гумуса по этому методу), количество углекислоты и pH хингидронным методом в суспензии.

Для этого исследования обработка почвы перекисью водорода велась мною следующим образом. Был взят ряд навесок по 5 *г* чернозема без прибавления $CaCO_3$ и две навески по 5 *г* чернозема + 1 *г* $CaCO_3$; все навески были помещены в иенские стаканы — без $CaCO_3$ емкостью в 200 *см*^{3}, а с $CaCO_3$ емкостью в 500 *см*^{3}. Во все стаканы было прилито по 10 *см*^{3} воды и по 10 *см*^{3} 30%-ной перекиси водорода; стаканы были покрыты часовыми стеклами и оставлены в теплом месте на ночь. Реакция началась тотчас же, причем в стаканах без $CaCO_3$ она шла довольно спокойно, в стаканах же с углекислым кальцием очень бурно; приходилось прибегать к охлаждению в холодной воде, и если бы были взяты меньшей величины стаканы, то несомненно, как это у меня не раз случалось, содержимое вылезло бы из стакана. На следующее утро в стаканах без $CaCO_3$ почва пожелтела, а в стаканах с $CaCO_3$ осталась без изменения.

Все стаканы с почвой без углекислого кальция были перенесены на кипящую водяную баню, и обработка перекисью продолжалась, причем в I группу стаканов прибавлено было еще 10 *см*^{3} H_2O_2 (всего 20 *см*^{3}), и этим обработка была закончена; почва имела вид совершенно лишенной гумуса, но отстоявшаяся жидкость была слабо-желтого цвета; во II группу стаканов без углекислого кальция было прибавлено последовательно в каждый еще 10+10+10 *см*^{3} H_2O_2, т. е. всего 40 *см*^{3}; отстоявшаяся жидкость имела чуть желтоватый оттенок; в III группу стаканов было прибавлено в каждый последовательно еще 10+10+10+20 *см*^{3} H_2O_2, т. е. всего 60 *см*^{3}; отстоявшаяся жидкость была бесцветна.

В стакане с почвой плюс углекислый кальций обработка перекисью водорода продолжалась сначала в теплом месте, так как реакция шла очень бурно, а затем — на водяной бане при 80°; всего было израсходовано 60 *см*^{3} перекиси водорода (т. е. столько же, как и в III группе стаканов). Анализ полученных почв дал следующие результаты:

В процентах на воздушно-сухую первоначальную (с гумусом) почву *

Способ обработки	Азот аммиачный (перегонка с MgO)	Гумус по Кнопу	CO_2	pH
I группа, 20 *см*^{3} H_2O_2	0,400	1,40	0	4,5
II группа, 40 *см*^{3} H_2O_2	0,398	1,42	0	5,0
III группа, 60 *см*^{3} H_2O_2	0,461	1,12	0,1	7,3
Почва + $CaCO_3$, 60 *см*^{3} H_2O_2	0,312	4,81	—	—

* Аналитик А. Н. Вольская.

Данные для аммиачного азота показывают, что при достаточной обработке почвы перекисью водорода весь ее органический азот переходит в аммиачный; если к проценту полученного аммиачного азота в почве, обработанной 60 *см*^{3} перекиси водорода, прибавить азот образовавшейся при этой обработке в небольшом количестве азотной кислоты (около 0,008% NO_3), то полученное таким образом количество азота как раз совпадает с общим количеством азота, содержащимся в исследуемой первоначальной почве.

Интересно было исследовать, не может ли теряться аммиак, образующийся из органического азота при окислении гумуса перекисью водорода, если окисление вести особенно энергично. Для этого в одном из стаканов III группы по окончании обработки его 60 *см*^{3} H_2O_2 мы продолжали обработку еще 10+10 *см*^{3} перекиси водорода при кипячении на голом огне; анализ показал, что вследствие такого кипячения содержание аммиачного азота упало с 0,461 до 0,252% *.

Из таблицы мы видим, что при обработке почвы перекисью водорода в присутствии значительного количества углекислого кальция количество аммиака в почве сильно уменьшается: при той постепенной и продолжительной обработке при температуре не выше 80°, какая велась в образцах, анализ которых дан в таблице, содержание аммиачного азота упало с 0,461 (почва без $CaCO_3$) до 0,312% *; ясно, что кальций углекислого кальция вытеснял аммоний из нелетучих аммонийных солей и последний улетучивался; что в данном случае действительно происходила потеря аммиака, а не неполное окисление органического азота почвы в присутствии $CaCO_3$, показывает определение общего азота (по Кьельдалю) в одной из навесок почвы, обработанной перекисью по вышеизложенному; мы получили в этом случае 0,321% азота, т. е. то же его содержание, как и аммиачного азота.

Если обработку перекисью вести в присутствии в почве $CaCO_3$ более энергично, то потеря аммиака получается более значительной; так в одном из опытов при нагревании на кипящей водяной бане получилось в почве 0,112%, а при кипячении обрабатываемой почвы на голом огне — всего лишь 0,082% аммиачного азота.

Обращаемся теперь к данным содержания гумуса в почве после обработки ее перекисью водорода. Таблица показывает, что при всех способах обработки, применявшихся в этом исследовании, гумус не был нацело удален из почвы; при самой энергичной обработке (60 *см*^{3} H_2O_2 на 5 *г* почвы) в почве осталось еще гумуса 1,12% от веса почвы; в данном случае результаты лучше выражать не в гумусе, а в органическом углероде, так как несомненно, что если коэффициент перевода углекислоты, получаемой в методах Кнопа или Густавсона, на гумус соответствует в той или другой степени составу гумуса в первоначальном черноземе, то для остатка гумуса, не сжигаемого перекисью водорода, он является совершенно фиктивным. В исходном черноземе содержалось 5,40% органиче-

---

* Анализ А. Н. Вольской.

ского углерода, а после окисления 5 *г* почвы 60 *см*³ H_2O_2 осталось 0,65% углерода от веса почвы, или 12% от первоначального содержания в почве углерода.

Представлялось интересным выяснить, нельзя ли этот остаточный углерод все-таки окислить перекисью водорода, применив для этого еще больше ее количества и при более высокой температуре взаимодействия. Для этого две из навесок предшествующего опыта, обработанных 60 *см*³ H_2O_2, обрабатывались еще каждая 50+50+50 *см*³ перекиси при кипячении на голом огне; в результате количество оставшегося углерода понизилось очень незначительно, а именно в почвах, таким образом обработанных, осталось 0,56% углерода от веса почвы, или 10% от первоначального углерода.

Таким образом, гумус чернозема невозможно полностью минерализировать окислением перекисью водорода, как бы энергично и в каких бы больших количествах ни обрабатывать ею почву; после такой обработки в исследовавшемся черноземе, содержащем 5,4% органического углерода, осталось еще около полупроцента (на вес почвы) органического углерода, т. е. около 10% от первоначального содержания углерода; очевидно, в числе органических соединений гумуса имеются очень стойкие, не поддающиеся действию H_2O_2 вещества; по-видимому, по крайней мере часть этих веществ представляет уголь.

Та же таблица показывает, что в присутствии углекислого кальция действие перекиси водорода на гумус очень сильно понижается: после действия на 5 *г* чернозема 60 *см*³ перекиси водорода в отсутствии $CaCO_3$ в почве осталось 1,12% гумуса (0,56% органического углерода), а в присутствии $CaCO_3$ — 4,81% гумуса, или 2,78% органического углерода.

Перехожу теперь к двум последним столбцам вышеприведенной таблицы — к содержанию углекислоты и концентрации водородных ионов в почве после обработки ее перекисью водорода. Мы видим, что при первых двух ступенях обработки почвы перекисью, когда в водном растворе оставались еще заметные количества органических соединений, углесолей почва не содержала, а pH в почве был 5,3 и 5,0, т. е. почва содержала свободные органические кислоты, и только при наиболее энергичной обработке мы получили слабощелочную реакцию (pH 7,3) и ничтожное содержание CO_2 — 0,1% от веса почвы.

Явление — чрезвычайно интересное и заслуживающее тщательного изучения и большого внимания. В целях более близкого его изучения мы произвели следующие опыты.

Был взят ряд навесок того же чернозема по 10 *г* каждая, и в стаканах к ним прибавлялись по 25 *см*³ воды и разные количества 30%-ной перекиси водорода; при больших количествах перекиси она прибавлялась во избежание вылезания пены не сразу, а постепенно; стаканы, закрытые стеклами, оставлялись некоторое время на холоде, а затем переносились закрытыми на кипящую баню, а когда реакция взаимодействия прекращалась, они открывались и содержимое выпаривалось досуха. Пос-

ле этого во всех почвах определялась величина pH хингидронным электродом.

Вот полученные результаты:

Величина pH почвы в зависимости от степени обработки почвы H_2O_2 *

Количество H_2O_2, *см*[3]	pH	Количество H_2O_2, *см*[3]	pH	Количество H_2O_2, *см*[3]	pH	Количество H_2O_2, *см*[3]	pH
0	6,75	5,0	6,06	15,0	4,15	50,0	5,63
0,5	6,49	7,5	4,95	20,0	3,75	60,0	5.73
1,0	6,49	10,0	4,63	25,0	4,08	80,0	5,82
2,0	6,19	10,0	4,62	30,0	4,28	100.0	5,92

* Определение pH произведено А. Н. Вольской.

В первоначальной почве pH равен 6,75; уже самое малое количество перекиси понизило его до 6,49, а затем, с увеличением количества перекиси, pH становился все меньше и меньше; таким образом, окисление органических веществ чернозема сопровождается образованием нелетучих органических кислот (отчасти и минеральных, азотной и серной кислот, см. ниже), количество которых с увеличением количества перекиси водорода сначала все возрастает. Освобождающихся из гумуса зольных катионов и в том числе обменных оказывается недостаточно для нейтрализации образующихся кислот, жидкость остается кислой, кислотность эта по мере окисления гумуса становится все выше и выше, и образующаяся углекислота как конечный продукт минерализации тех или других органических соединений почвы освобождается и улетучивается.

Несомненно, между процессом окисления органических соединений почвы перекисью водорода и тем же процессом, протекающим естественно в почве, существует некоторая аналогия, и на основании полученных нами результатов можно определенно утверждать, что в том и другом случае общее направление процесса одно и то же и что различаются они главным образом в степени своей интенсивности; таким образом, и в естественных условиях постепенное разложение органических веществ почвы должно идти (в отсутствие готовых карбонатов или при малом содержании их) не с образованием карбонатов зольных катионов органических веществ, а с образованием солей нелетучих органических кислот (отчасти и минеральных) и *свободных кислот*; углекислота улетучивается, и pH почвы постепенно понижается; этим только и можно объяснить многие почвенные явления, до сих пор казавшиеся странными (для меня по крайней мере) и непонятными, так например, хотя и очень небольшую, но все же кислотность пахотного горизонта тучного чернозема нашего опыта; процесс разложения гумуса в этом горизонте несомненно

идет; если бы он совершался с образованием углесолей щелочноземельных и щелочных металлов — зольных катионов гумуса, то pH в пахотном горизонте должен бы быть больше 7 и постепенно с течением времени все возрастать; мы же имеем обратное, что на основании изложенного становится вполне понятным; особенно резко это выявляется в перегнойно-карбонатных почвах, где при обилии органических веществ и высоком горизонте вскипания разложение гумуса явно идет с образованием солей нелетучих органических кислот, избытка свободных кислот и с улетучиванием CO_2, в результате чего верхний горизонт почвы явно кислый.

Совершенно в таком же направлении должен протекать процесс разложения гумуса и в солонцовых почвах, так как ясно, что замена поглощенного кальция и магния на натрий не увеличивает в гумусе количества зольных элементов, способных нейтрализовать образующиеся при окислении свободные органические кислоты: поэтому наряду с солонцеватостью мы имеем кислые почвенные растворы в бескарбонатных солонцах *.

Как показывает далее вышеприведенная таблица, после постепенного уменьшения pH с усилением обработки перекисью водорода и достижения ими некоторой минимальной величины (в нашем случае 3,75), которая получается уже при очень заметном на глаз уменьшении содержания гумуса, наступает постепенное повышение этой величины; очевидно, количество вновь образующихся органических кислот начинает уступать место количеству разрушающихся уже существующих в тот момент органических кислот, с освобождением связанных ими оснований.

В этом опыте нам не удалось получить щелочной реакции; наступление ее зависит не только от количества употребленной перекиси водорода, но и от способа обработки почвы ею и в первую очередь от температуры.

Перехожу теперь к растворяющему действию воды на почву, обработанную перекисью водорода. Действие это изучалось с помощью водных вытяжек. Прежде всего приведу данные водной вытяжки (отношение веса почвы к весу воды 1 : 10, время воздействия — 3 минуты) для тульского тучного чернозема (пахотный горизонт), о котором речь была в начале этой статьи, в нижеследующей таблице (стр. 370); почва I означает необработанный перекисью первоначальный чернозем, а почва II —

---

* Я думаю, что то же явление — образование при разложении гумуса в естественных условиях солей кальция органических кислот, трудно растворимых в растворах, применяющихся для определения обменных катионов и обменной емкости — играет известную роль в сезонных и годичных изменениях емкости обмена, констатированных М. А. Винокуровым, а затем и другими исследователями; в этих комбинациях большую роль вообще должен играть режим простых солей и в частности вышеуказанных солей органических кислот; их содержание в почве должно сильно колебаться в зависимости от метеорологических условий; вследствие их трудной растворимости они могут не учитываться при определениях, что в зависимости от их количества, конечно, не одинаково сказывается и на количестве обменных оснований и на обменной кислотности.

этот же чернозем, обработанный перекисью до видимого исчезновения гумуса (эти данные перечислены на вес первоначального гумусного чернозема).

Из 100 *г* сухой почвы вода извлекает (*г* *)

Почва	Остаток водной вытяжки			SiO_2	R_2O_3	CaO	MgO	Водно-растворимый гумус, *см*³ 0,05 н. $KMnO_4$
	сухой	прокаленный	потеря от прокаливания					
I	0,205	0,068	0,136	0,018	0,002	0,025	0,006	140
II	1,787	0,428	1,359	0,023	0,036	0,094	0,070	912

* Анализ произведен совместно с О. П. Досмановой.

Таблица показывает, что после обработки почвы перекисью водорода в ней очень сильно повысилось количество водорастворимых веществ; повышение это падает главным образом на вещества, улетающие при прокаливании сухого остатка (потеря от прокаливания увеличилась в десять раз сравнительно с той, какая была при первоначальной гумусной почве), а именно на органические вещества и химически связанную воду и аммиак; количество водорастворимых минеральных веществ увеличилось не так сильно (с 0,068 до 0,428), но все-таки очень заметно. В минеральной части сухого остатка обработка перекисью водорода сильно повысила количества полуторных окислов, кальция и магния; общая сумма определявшихся в минеральной части веществ значительно меньше прокаленного остатка (а именно 0,243 *г* при прокаленном остатке 0,428); как мы увидим ниже, недостающее количество почти полностью покрывается неопределявшейся в этом опыте серной кислотой.

Было интересно исследовать влияние степени обработки почвы перекисью водорода на количество веществ, извлекаемых водой.

С этой целью три навески пахотного горизонта каменностепного тучного чернозема по 100 *г* каждая обрабатывались различными количествами 30%-ной перекиси водорода, а именно:

Навеска	H_2O_2, *см*³ (порциями по 10 *см*³)
1-я	140
2-я	240
3-я	390

причем уже первая, самая слабая обработка на глаз уничтожала весь гумус почвы, но отстоявшаяся жидкость после удаления полностью перекиси была желтая. Из полученных таким образом почв приготовлялась

водная вытяжка (1 : 5) при 3-минутном взбалтывании *. Анализ фильтрата дал нам следующие результаты.

Водные вытяжки из чернозема Каменностепной станции, в различной степени обработанные H_2O_2

(*г* на 100 *г* почвы)

Количество H_2O_2 на 100 *г* почвы, *см*^{3}	Сухой остаток			SiO_2	R_2O_3
	просушенный	прокаленный	потеря от прокаливания		
140	1,877	0,452	1,425	0,119	0,098
240	1,069	0,244	0,825	0.061	0,032
390	0,904	0,191	0,713	0,016	0,009

Количество H_2O_2 на 100 *г* почвы, *см*^{3}	CaO	MgO	SO_3	Растворимый гумус, *см*^{3} 0,05 н. $KMnO_4$	Титров. кислотн., *см*^{3} 0,02 н. KOH
140	0,070	0,060	0,145	525	375
240	0,010	0,040	0,145	223	35
390	0,007	0,033	0,193	164	Слабо щел.

Количество H_2O_2 на 100 *г* почвы, *см*^{3}	pH *	Нерастворимый гумус, по Кнопу *	pH *	NH_3 *	
				весь	водной вытяжки
140	4,3	1,46	0,0	0,420	0,128
240	5,0	1,42	0,0	0,480	0,138
390	7,1	1,12	Сл.	0,510	0,153

Примечание. Цифры, отмеченные звездочкой, принадлежат А. Н. Вольской.

---

* В этом опыте обработка перекисью водорода велась при кипячении на голом огне. Сравнение полученных данных с другими, где обработка велась на кипящей бане, показывает, что эффект действия H_2O_2 в значительной степени зависит от температуры: окисление органических веществ при одном и том же количестве H_2O_2 на единицу веса почвы при кипячении на голом огне происходит гораздо полнее, чем при нагревании на кипящей водяной бане.

Данные таблицы показывают, что с увеличением количества перекиси водорода, воздействовавшей на 100 *г* почвы, понижались: потеря от прокаливания сухого остатка водных вытяжек, количество растворимого гумуса и количество оставшегося в почве водой не извлекаемого гумуса *. При наиболее энергичной из применявшихся обработок перекисью (390 *см*^{3} H_2O_2 на 100 *г* почвы) водорастворимых органических веществ в почве осталось немногим лишь больше, чем в первоначальном черноземе; при этой обработке все те органические соединения, которые образовывались из гумуса почвы при более слабой обработке перекисью и переходили в раствор, почти нацело сжигались перекисью. Вместе с уменьшением количества водорастворимых органических веществ уменьшалось количество свободных кислот в вытяжке (понижение титровальной кислотности) и возрастала величина pH; при наиболее сильной обработке жидкость уже слабощелочная и содержит углесоли.

Вместе с уменьшением просушенного остатка водной вытяжки и его потери от прокаливания идет уменьшение и минерального остатка водной вытяжки, определенного прокаливанием сухого остатка; так как водная вытяжка из почвы, обработанной перекисью водорода, содержит аммонийные и сернокислые соли, то очевидно, прокаленный остаток ее не дает истинного представления о количестве минеральных веществ, извлекаемых водой из почвы, обработанной перекисью водорода; о нем надо судить по количеству извлекаемых из такой почвы отдельных элементов.

Анализ вытяжки показывает, что при сравнительно слабой обработке почвы перекисью, когда в водный раствор переходит еще много органических соединений (хотя в самой почве остается очень мало гумуса) **, и в том числе свободные органические кислоты, водная вытяжка извлекает из почвы сравнительно много минеральных веществ (кремнекислоты, полуторных окислов, кальция и магния); более сильная обработка (2-я в нашем опыте) дает вместе с уменьшением кислотности и повышением pH до 5,0 уже заметно меньшие количества этих веществ, извлекаемых водой; наконец, при самой сильной из применявшихся обработок реакция почвы стала уже слабощелочной, и количества SiO_2, R_2O_3, CaO и MgO, извлекаемых водой из обработанной почвы, падают почти до величин, получаемых в водной вытяжке из первоначального, необработанного перекисью чернозема.

Из определявшихся нами минеральных веществ, извлекаемых водой, с усилением обработки почвы перекисью водорода показывают обратное

---

* Определение гумуса в почвах велось после отфильтрования водных вытяжек и промывки почвы на фильтре 50 *см*^{3} воды.

** А именно почти то предельное его количество, которое уже не сжигается перекисью; как мы выше указывали, при применении очень больших количеств H_2O_2 и кипячении на голом огне мы не могли понизить остаточного количества гумуса в исследовавшемся черноземе ниже 0,97% от веса почвы, а при той самой слабой обработке, о которой здесь в данном опыте идет речь, количество оставшегося в почве гумуса равно 1,46% от веса почвы.

отношение лишь серная кислота и аммиак; их количества не уменьшаются, а увеличиваются параллельно усилению обработки; легко видеть, что это как раз те минеральные вещества, которые возникают из металлоидов, входящих в состав гумуса, а именно из органической серы и органического азота.

Совершенно ясно, что и органический фосфор, давая при окислении гумуса фосфорную кислоту, должен проявлять себя так же, как органические сера и азот, с той только разницей, что в силу нерастворимости солей фосфорной кислоты и кальция, магния, алюминия и железа переход органического фосфора в минеральный не может учитываться водной вытяжкой; в какой мере этот переход будет отражаться на количествах воднорастворимой фосфорной кислоты, какова будет в данном случае зависимость этих количеств от pH почвы, в той или другой степени обработанной перекисью водорода,— все эти вопросы, как и многие другие, связанные с минерализацией фосфора, могут быть разрешены лишь экспериментальным исследованием; мы этими вопросами еще не занимались, еще не успели подойти к ним; несомненно, что ход минерализации органического фосфора под действием перекиси водорода представляет большой интерес вообще и в частности для разработки метода учета органического фосфора в почве.

Вообще мы думаем, что в методе обработки почвы перекисью водорода мы получаем подход к разрешению вопросов учета зольных элементов гумуса. Учет органической серы при посредстве полной минерализации ее перекисью водорода дается уже простой водной вытяжкой. Учет органического азота также может быть сделан, как мы выше видели, при помощи обработки перекисью определением всего полученного аммиака, но для этого элемента в таком способе нет надобности, так как непосредственное определение в почве органического азота по Кьельдалю, конечно, гораздо проще.

Что касается третьего металлоида, входящего в состав гумуса почвы и представляющего громадный интерес для агрохимика, а именно фосфора, то методики определения его количества в органических соединениях почвы мы не имеем. Я думаю, что изучение превращений органического фосфора при различной степени обработки почвы перекисью водорода прольет свет на ход минерализации фосфора в почве и позволит найти растворители для определения количества минерализовавшегося фосфора.

Кроме указанных металлоидов гумус почвы содержит металлы, и в том числе поглощенные катионы. Из приведенных выше результатов воздействия воды на почву, в разной степени обработанной перекисью водорода, мы видим, что по крайней мере те металлы, которые мы исследовали, т. е. кальций и магний *, почти не переходят при окислении

* В гумусе исследовавшегося чернозема как несолонцеватой почвы обменного натрия, а тем более калия содержаться не может; поэтому несомненно, что щелочные элементы если и содержатся в гумусе этой почвы, то лишь в «необменном»

гумуса в углесоли (только при самой энергичной обработке почвы перекисью водорода получаются очень небольшие количества углесолей), а дают соли каких-то органических, очень стойких в отношении H_2O_2 кислот, и притом трудно растворимых в воде и в других растворителях, как мы это увидим ниже, когда будем говорить о влиянии обработки почвы перекисью водорода на емкость обмена почвы.

Чтобы покончить с вопросом о растворяющем действии воды на почву, обработанную перекисью водорода, я приведу еще данные анализа двух последовательных водных вытяжек из того же образца каменностепного чернозема, обработанного перекисью водорода (100 *г* почвы обрабатывались 100 *см*^{3} 30%-ной перекиси водорода) до видимого уничтожения гумуса. Остатка гумуса в обработанном образце мы не определяли, но судя по данным водной вытяжки и величине pH можно предполагать, что этот остаточный гумус был в количестве около 1,5% от веса первоначальной почвы.

Получавшаяся почва от обработки 100 *г* чернозема перекисью водорода была взболтана с 500 *см*^{3} воды и оставлена в покое до просветления; полное просветление жидкости наступило через 3 дня; тогда было слито сифоном 390 *см*^{3} вполне прозрачной жидкости (вытяжка 1-я), прилито столько же воды, взболтано и опять оставлено до полного просветления, которое наступило лишь через 28 дней; тогда снова было слито для анализа (вытяжка 2-я) 390 *см*^{3} вполне прозрачной жидкости и опять прилито такое же количество воды для получения 3-й последовательной вытяжки; но этого сделать не удалось, так как ко времени писания настоящей статьи эта вытяжка, поставленная отстаиваться 7 марта 1931 г., остается очень мутной.

Мы отмечаем этот факт как очень характерный показатель колоссального влияния удаления гумуса из почвы на степень ее дисперсности: первая из последовательных вытяжек содержала, как видно из нижеследующей таблицы, много растворенных веществ и потому быстро просветлялась, 2-я содержала этих веществ уже значительно меньше, и для просветления понадобился почти месяц, тогда как первоначальный, необезгумусенный чернозем после промывания его водой отстаивался при том же отношении между количествами почвы и воды нацело уже дней через 10; когда из почвы, обработанной перекисью, была сделана 3-я последовательная вытяжка, т. е. с помощью 2-й вытяжки было произведено дальнейшее удаление растворимых солей, то и через 5 месяцев жидкость над осевшей почвой продолжает оставаться сильно мутной; если мы вспомним, что коллоидальная частица около 0,1 *мкм* в диаметре проходит в 21 день примерно 10 *см* (в нашей 3-й водной вытяжке слой жидкости над почвой имеет 15 *см* высоты), то будет совершенно ясно, что уничтожение гумуса в черноземе перекисью водорода ведет к сильному распылению минерального коллоидального (поглощающего) комплекса, к по-

---

состоянии, и количество их там во всяком случае должно быть значительно ниже, нежели количества кальция и магния. Пока мы вопрос о содержании этих элементов в гумусе не затрагивали, но считаем его очень интересным.

явлению большого количества в водной суспензии отдельных частиц коллоидального размера; а так как нет никаких оснований допускать раздробляющего действия перекиси водорода на минеральную часть почвы, то очевидно, что в данном случае мы имеем дело лишь с действительным распылением (а не с раздроблением) имевшихся в первоначальном черноземе микроструктурных элементов, связанных присутствующим в почве коллоидальным органическим веществом в прочные, не разрушаемые водой агрегаты, и что эта связь в той или другой мере разрушается с удалением цемента — гумуса.

Уже на основании этого опыта мы видим колоссальное влияние гумуса на физические свойства почвы и можем это влияние с помощью перекиси водорода учесть. Сейчас мы коснулись этого вопроса лишь частично и попутно с данными приводимых здесь водных вытяжек; ниже мы на нем остановимся подробнее. Отфильтровать 3-ю последовательную вытяжку мы не могли, так как муть свободно проходила даже через двойной фильтр из бумаги № 602 extra hart. Полученные нами данные анализа 1-й и 2-й последовательных вытяжек приводим в нижеследующей таблице, где для вытяжки 2-й даются для каждого определения две цифры, верхняя представляет непосредственно определенную в вытяжке величину, а нижняя — за вычетом того количества определяемого вещества, которое перешло во 2-ю последовательную вытяжку вместе с остатком жидкости (110 *см*^{3}) из 1-й вытяжки.

Количество веществ, извлекаемых из 100 *г* чернозема, обработанного H_2O_2, 1-й и 2-й последовательными водными вытяжками (*г*)

Вытяжка	Сухой остаток		SiO_2	K_2O_3	CaO	SO_3	NO_3 *	NH_3 *	Водорастворимый гумус, *см*^{3} 0,05 н. $KMnO_4$	Титровальная		pH *
	просушенный	прокаленный								кислотность, *см*^{3} 0,02 н. KOH	щелочность, *см*^{3} 0,02 н. HCl	
1-я	1,480	0,319	0,007	0,076	0,050	0,144	0,008	0,133	440	250	—	4,65
2-я	0,397	0,119	0,034	0,023	0,014	0,040	—	0,075	—	—	—	—
	0,082	0,049	0,032	0,005	0,011	0,008	—	0,046	—	—	172	7,7

* Определение азотной кислоты, аммиака и pH произведено А. Н. Вольской.

Приведенный анализ показывает, что 1-я водная вытяжка извлекает из почвы, обработанной перекисью водорода до pH 4,65, в данном опыте много веществ, и примерно столько же, как и в ранее приведенных опытах при сравнимой величине pH; 2-я же последовательная обработка той же почвы водой дала в раствор уже значительно меньше веществ; данные этой вытяжки уже приближаются по своей величине к данным

вытяжки из первоначального чернозема; 3-я же последовательная обработка, судя по ходу отстаивания водной вытяжки, должна дать еще меньше, чем водные вытяжки из первоначального чернозема.

Таким образом, под влиянием обработки почвы перекисью в почве образуется некоторое количество водорастворимых веществ, большее или меньшее в зависимости от степени обработки почвы перекисью; после удаления этих легкорастворимых веществ оставшаяся масса оказывается такой же малорастворимой, как и у первоначальной необезгумусенной почвы; какое-либо накопление под действием перекиси соединений с повышенной растворимостью, но вместе с тем не могущих быть извлеченными однократной обработкой почвы водой, вовсе не имеет места.

Подводя общие итоги изучения действия перекиси водорода на исследовавшуюся почву, поскольку оно выявилось водными вытяжками, можно следующим образом нарисовать картину постепенного действия перекиси, начиная от небольших ее количеств, не производящих еще видимого изменения цвета почвы, и до таких количеств, что дальнейшее их увеличение уже не разрушает оставшегося небольшого содержания гумуса.

Уже очень небольшое количество прибавлений к чернозему перекиси водорода вызывает образование некоторого количества аммиака из органического азота почвы, повышение концентрации водородного иона (уменьшение pH) в почвенном растворе, свидетельствующее об образовании свободных органических кислот, а также серной и фосфорной кислот как следствие окисления органических веществ почвы.

С дальнейшим прибавлением перекиси водорода образуется и накопляется все больше и больше свободных кислот и соответственно с этим повышается кислотность жидкости как титровальная, так и актуальная *; pH падает очень постепенно и наконец достигает минимума, который в исследовавшемся нами черноземе лежит около 3,5 **. С дальнейшим прибавлением перекиси водорода мы вступаем во вторую стадию окисления гумуса, когда количество вновь образующихся органических кислот постепенно все более и более уступает место количеству их полностью минерализирующихся, с выделением и улетучиванием углекислоты; процесс совершается в кислой среде, pH которой постепенно возрастает, но пока еще не достигает 7: где-то около пункта с минимумом pH получается максимальная растворимость почвенных соединений в воде; с повышением его при дальнейшем прибавлении H_2O_2 растворимость падает.

В этой второй стадии разрушения органических веществ почвы освобождающиеся из гумуса щелочноземельные металлы связываются в трудно растворимые соли фосфорной кислоты и, очевидно, каких-то трудно

* Очень вероятно, что при этом уже в этой начальной стадии окисления гумуса часть образовавшихся кислот полностью минерализуется, с улетучиванием углекислоты, но тогда во всяком случае количество вновь образующихся свободных кислот во все время этой стадии превышает количество минерализующихся.

** В различных почвах и горизонтах почвы этот минимум должен быть различным, в зависимости главным образом от количества и свойств гумуса.

разрушаемых органических кислот; вместе с преобладанием в этой стадии окисления гумуса процессов полной минерализации органического вещества над процессами образования новых количеств органических кислот идет усиленное образование аммиака из органического азота, который частично нейтрализуется свободными кислотами и главным образом серной кислотой, образующейся из серы гумуса, а в другой своей части (по-видимому, судя по данным содержания его в водных вытяжках, большей) поглощается почвенным минеральным поглощающим комплексом, с вытеснением оттуда обменных кальция и магния, связывающихся фосфорной и устойчивыми органическими кислотами в трудно растворимые в воде соли.

Как мы указывали раньше, разрушить весь гумус почвы в исследовавшейся почве нам не удалось, несмотря на очень большие количества применявшейся перекиси водорода и сильное нагревание; остающиеся органические соединения или не окисляются уже этим окислителем, или окисляются настолько медленно, что нам этого уловить не удалось.

Этот достигнутый нами конец второй стадии окисления гумуса характеризуется слабощелочной реакцией (pH около 7,5), небольшим содержанием углесолей и очень малой растворимостью в воде почвенных соединений, если не считать аммиака и серной кислоты (вся серная кислота, образовавшаяся из серы гумуса, переходит в водную вытяжку). Только в самом конце второй стадии окисления гумуса перекисью водорода получаются условия, благоприятные для задержания в почве образующейся при окислении углекислоты в виде углесолей, причем в этих условиях углесолей образуется очень мало, а главная масса освободившихся и образовавшихся к этому времени оснований (аммиак, кальций, магний) связана серной, фосфорной, образовавшимися и оставшимися в почве органическими кислотами и почвенным поглощающим комплексом.

Обращаюсь теперь к вопросу о влиянии обработки почвы перекисью водорода на обменную способность почвы. Вопрос этот в настоящее время я расчленяю на два отдельных вопроса: изменяется ли обменная способность минеральной части почвенного поглощающего комплекса под влиянием обработки почвы перекисью водорода и что делается с теми обменными катионами, которые содержатся в органической части почвенного поглощающего комплекса, когда гумус почвы минерализован перекисью водорода.

В начале своих работ с перекисью водорода последнего вопроса я не ставил, так как считал его ясным, а именно, как я указывал в начале этой статьи, что все обменные и необменные металлы гумуса при уничтожении его должны дать углесоли.

Все те данные, которые приведены мною выше и которые я сейчас приведу, определенно говорят, что подобное допущение неверно, что щелочноземельные металлы, освобождаясь из гумуса при его окислении, переходят почти целиком не в углесоли, а в трудно растворимые соли

других кислот (фосфорной и устойчивых органических кислот); эти соли очень трудно растворимы в растворах хлористого натрия, хлористого аммония (в последнем они растворяются значительно слабее, нежели углесоли щелочноземельных металлов) и даже в 0,05 н. соляной кислоте. Из имеющихся у меня в этом направлении данных я приведу только некоторые.

1. 10 *г* тульского тучного чернозема, обработанного перекисью водорода до видимого исчезновения гумуса, обрабатывались затем 1,0 н. раствором хлористого аммония сначала в фарфоровой чашечке, а затем на фильтре; в отдельных порциях фильтрата определялся кальций; результат (количество Са даю в граммах по пересчету на 100 *г* первоначальной почвы) дан в таблице.

Количество 1,0 н. NH_4Cl, пропущенного через 10 *г* почвы, *см*	Содержание в фильтрате Са		Количество 1,0 н. NH_4Cl, пропущенного через 10 *г* почвы, *см*	Содержание в фильтрате Са	
	г	*мг-экв*		*г*	*мг-экв*
1000	0,495	24,80	500	0,031	1,55
250	0,023	1,15	750	0,039	1,95
250	0,038	1,90	750	0,034	1,70
250	0,044	2,20			
500	0,044	2,20	4250	0,748	37,45

Таким образом, первым литром раствора NH_4Cl вымыто было из 10 *г* почвы (по перечислению на 100 *г*) 0,495 *г* Са, или 24,8 *мг-экв*, а последующими 3250 *см*^{3} еще 0,253 *г*, или 12,6 *мг-экв*, и выщелачивание кальция еще не было закончено.

2. Навески по 5 *г* каменностепного чернозема обрабатывались на фильтре растворами 1,0 н. хлористого натрия, 1,0 н. хлористого аммония и 0,05 н. соляной кислотой; то же было сделано с такими же навесками этого чернозема после окисления их гумуса перекисью водорода. Навески первоначального чернозема промывались растворами, пока не получилось по одному литру фильтрата; проба на кальций дальнейших фильтратов (200 *см*^{3}) показала небольшое количество при промывании почвы хлористым натром; хлористый же аммоний и 0,05 н. соляная кислота дальше уже не извлекали кальция из первоначальной почвы. Пятиграммовые навески после окисления гумуса перекисью промывались на воронках 2500 *см*^{3} тех же растворов; проба следующих 200 *см*^{3} фильтрата показала для хлористого аммония и соляной кислоты еще присутствие кальция; промывание же хлористым натром, судя по этой качественной реакции, было закончено.

Определение кальция в промывных растворах показало следующие результаты.

Извлечено кальция по перечислению на 100 *г* первоначального чернозема

Раствор	Из первоначального (1000 *см*³ фильтрата)		После обработки H_2O_2 (2500 *см*³ фильтрата)	
	г	*мг-экв*	*г*	*мг-экв*
1,0 н. NaCl	0,940	47,0	0,555	27,8
1,0 н. NH_4Cl	1,126	56,3	0,805	40,3
0,05 н. HCl	1,075	58,7	0,985	49,3

Нужно заметить, что промывание на фильтре чернозема, обработанного перекисью водорода, идет чрезвычайно медленно вследствие значительного повышения коллоидальности почвы после удаления из нее гумуса; по-видимому фильтрация происходит не через всю почву равномерно, а главным образом по фильтру и вблизи его; приходится постоянно при промывании раствором стараться сильной струей взмутить содержимое воронки; поэтому при обработке почвы, из которой удален гумус перекисью водорода, с целью вытеснения обменных катионов следует возможно дольше обрабатывать почву растворами в фарфоровой чашке и переносить на фильтр возможно полнее отстоявшуюся жидкость, стараясь поменьше переносить почвы. Промывание на воронке почвы, обработанной перекисью водорода, настолько длительно, что мы предпочитаем обрабатывать такую почву в стакане 250—300 *см*³ соответствующего раствора, давая каждый раз жидкости полностью отстояться и сливая вполне прозрачную жидкость сифоном.

Вышеприведенные данные показывают, что промывание 5 *г* первоначального чернозема литром 1,0 н. раствора хлористого аммония и литром 0,05 н. соляной кислоты полностью извлекался обменный кальций; то же количество 1,0 н. раствора хлористого натра извлекало уже неполностью (47,0 *мг-экв* вместо содержавшихся в 100 *г* исследуемой почвы 56,0 *мг-экв*); из почвы, обработанной перекисью водорода, ни один из взятых растворов не извлек всего этого кальция даже при промывании ими почвы в количестве в 2,5 раза большем (2500 *см*³); выщелачивание кальция ни в одном из этих трех случаев не было закончено; больше всего кальция выщелочила 0,05 н. соляная кислота (49,3 *мг-экв* вместо 56,0 *мг-экв* обменного кальция первоначального чернозема), затем 1,0 н. хлористый аммоний (40,3 *мг-экв*) и меньше всего 1,0 н. хлористый натрий — всего 27,8 *мг-экв*.

Это очень интересные данные; мы выше отмечали, что проба на кальций промывных вод, после того как отфильтровалось 2500 *см*³ наших растворов, как раз в случае раствора хлористого натра показала полное вымывание кальция; для растворов же хлористого аммония и соляной

кислоты проба показала, что промывание еще не закончено, а между тем хлористый натрий выщелочил из почвы, обработанной перекисью водорода, значительно меньше кальция, нежели хлористый аммоний и соляная кислота. В дальнейшем мы увидим, что 27,0 *мг-экв* как раз почти совпадает с величиной емкости обмена минеральной части нашего чернозема, определенной другим методом.

Таким образом, приходится прийти к выводу, что хлористый натрий вытеснил весь обменный кальций из почвы, обработанной перекисью, и почти вовсе не растворил тех солей кальция, которые образовались после окисления гумуса перекисью водорода из кальция, содержавшегося в гумусе почвы, т. е. что вновь возникшие соли кальция в хлористом натре очень трудно растворимы.

3. Навески по 5 *г* первоначального чернозема и такие же навески, обработанные предварительно перекисью водорода до возможно полного удаления гумуса, взбалтывались с 1 *л* раствора хлористого аммония различной концентрации. Через сутки жидкость отфильтровывалась и в ней определялся кальций.

1 *л* раствора NH_4Cl извлек кальция, по перечислению на 100 *г* первоначальной почвы

Концентрация раствора NH_4Cl	Из первоначального чернозема		Из чернозема, обработанного H_2O_2	
	г	*мг-экв*	*г*	*мг-экв*
4,0 н.	1,140	57,0	1,130	56,5
1,0 н.	0,970	48,5	0,790	39,5
0,1 н.	0,616	30,8	0,404	20,2
0,01 н.	0,314	15,7	0,228	11,4

Мы видим, что 4,0 н. раствор хлористого аммония в количестве 1 *л* на 5 *г* почвы при однократной обработке почвы извлек из первоначального чернозема полностью весь его обменный кальций; такое же количество кальция извлечено было этим раствором и из чернозема, гумус которого был уничтожен перекисью водорода; таким образом, хлористый аммоний этой концентрации и при взятом соотношении его объема к количеству почвы извлек из почвы, обработанной перекисью водорода, весь бывший в первоначальном черноземе обменный кальций, т. е. тот кальций, который в обработанной почве остался в виде обменного (значит, в минеральном поглощающем комплексе) и в виде солей кальция, образовавшихся после разрушения органических веществ почвы.

Одним литром хлористого аммония всех других исследованных концентраций из первоначального чернозема извлекался не весь обменный кальций; из почвы же, обработанной перекисью водорода, во всех этих случаях извлекалось соответственно меньше кальция: на 19% (концент-

рация 1,0 н.) — 33% (концентрация 0,1 н.). Все эти данные определенно говорят за то, что если под влиянием обработки почвы перекисью водорода вызываются какие-либо изменения в обменных свойствах минерального поглощающего комплекса почвы, то это во всяком случае не перевод его обменного кальция в необменный кальций (что, например, вызывается сильным прокаливанием почвы), иначе 4,0 н. NH_4Cl не извлек бы из безгумусной почвы столько же этого элемента, сколько извлекается им из почвы с неразрушенным гумусом.

Возможно лишь допущение некоторого понижения емкости обмена вследствие разрушения той или другой части поглощающего комплекса при обработке почвы перекисью и переводе того или другого количества обменного кальция минерального поглощающего комплекса в какую-то простую соль кальция, растворяющуюся в 4,0 н. хлористом аммонии, подобно тому как эта перекись разрушает только нацело органический поглощающий комплекс. Как мы увидим ниже, такое предположение опровергается действием перекиси водорода на почвенные горизонты, не содержащие гумуса, так как в этих случаях емкость обмена под влиянием обработки перекисью водорода не понижается. Возможно, что перекись водорода, не изменяя в измеримых количествах величину емкости почвенного минерального поглощающего комплекса, влияет на энергию обмена (между прочим, вследствие изменения pH); исследований в этом направлении мы не делали.

4. Желая подойти к вопросу, как влияет степень обработки гумусной почвы перекисью водорода на количества кальция, извлекаемого из такой обработанной почвы растворами хлористого аммония и натрия различной концентрации, мы поставили такие исследования: 5 *г* первоначального чернозема (каменностепного) и навески по 5 *г* его же, предварительно обработанные в разной степени перекисью водорода (из производившихся обработок уже при самой слабой почва на глаз лишалась своего гумуса), взбалтывались в течение суток с 1000 *см*³ раствора хлористого аммония или хлористого натрия той или иной концентрации. Результаты этого опыта даю в следующих двух таблицах.

1 *л* раствора NH_4Cl извлечено кальция из 5 *г* почвы, по перечислению на 100 *г* первоначальной почвы

Почва	Концентрация раствора NH_4Cl							
	4,0 н.		1,0 н.		0,1 н.		0,01 н.	
	г	*мг-экв*	*г*	*мг-экв*	*г*	*мг-экв*	*г*	*мг-экв*
Первоначальная	1,140	57,0	0,970	48,5	0,616	30,8	0,314	15,71
Обработано H_2O_2:								
20 *см*³	1,130	56,5	0,760	38,0	0,320	16,0	0,188	9,4
40 *см*³	1,110	55,5	0,700	35,0	0,332	16,6	0,236	11,8
60 *см*³	1,145	57,2	0,750	37,5	0,332	16,6	0,232	11,6

Как и в ранее приведенном исследовании, 4,0 н. хлористый аммоний извлек из почвы первоначальной и из почв, обработанных перекисью водорода, одинаковые количества кальция, а именно все его количество, находившееся в первоначальном черноземе в обменном состоянии; растворы же более слабых концентраций хлористого аммония извлекли из почвы, обработанной перекисью водорода, значительно меньше кальция, чем из почвы первоначальной. Хлористый же натрий и в концентрации 4,0 н. извлек из почвы, обработанной перекисью, значительно меньше кальция, нежели из почвы первоначальной. Что касается влияния степени обработки почвы перекисью водорода на количество извлекаемого кальция, то для хлористого аммония мы получили малонаглядные результаты: хотя для всех трех степеней обработки данные получились и не одинаковые, но различие между ними слишком мало, чтобы делать какие-либо выводы; возможно, что растворимость образующихся при окислении гумуса соединений кальция при различной степени обработки перекисью в хлористом аммонии приблизительно одинакова; а возможно также, что при других степенях обработки получились бы более резкие различия.

1 *л* раствора NaCl извлечено кальция из 5 *г* почвы по перечислению на 100 *г* первоначальной почвы

Почва	Концентрация раствора NaCl			
	4,0 н.		0,1 н.	
	г	*мг-экв*	*г*	*мг-экв*
Первоначальная	0,840	42,0	0,500	25,0
Обработано H_2O_2:				
10 $см^3$	0,570	28,5	0,300	15,0
30 $см^3$	0,500	25,0	0,270	13,5
100 $см^3$	0,650	32,5	0,41	20,5

По крайней мере в опыте с растворами хлористого натрия, где почва обрабатывалась иными количествами перекиси водорода и где наиболее сильная обработка была значительно выше, чем наиболее сильная обработка для растворов хлористого аммония (в первом случае 5 *г* почвы обрабатывалось 100 $см^3$ H_2O_2, а во втором — всего 60 $см^3$), мы совершенно определенно получили, что при самой сильной степени обработки, какую мы применяли, хлористый натрий извлек заметно больше кальция, чем при других наших более слабых обработках, причем интересно отметить, что средне обработанная почва показала наименьшую растворимость кальция, но полученные здесь данные недостаточно отличаются от данных самой слабой обработки, поэтому приходится воздержаться от каких-либо определенных заключений.

Все вышеприведенные данные по взаимодействию между почвой, обработанной перекисью водорода, и растворами хлористого аммония и

натрия и 0,05 н. соляной кислотой, показывают на трудную растворимость тех солей кальция, которые образуются из кальция разрушенного гумуса; с другой стороны, способность 4,0 н. раствора хлористого аммония при достаточном его количестве в отношении взятой навески почвы извлекать из почвы, обработанной перекисью, столько же кальция, сколько его было в обменном состоянии в почве до обработки ее перекисью, позволяет с большей вероятностью сделать допущение, что при такой обработке почвы не затрагивается емкость обмена почвенного минерального поглощающего комплекса; но конечно, полного доказательства тут мы еще не имеем, так как можно допустить, что емкость обмена этой части поглощающего комплекса обработкой перекисью понижена или даже уничтожена, но что при этом кальций и магний, насыщающие эту обменную способность, дают такие простые соли, которые во всяком объеме 4,0 н. хлористого аммония растворяются так же нацело, как и соли кальция, возникшие из разрушенного гумуса; допущение мало вероятное. но, во всяком случае, возможное.

Чтобы исследовать влияние перекиси водорода на емкость почвенного минерального поглощающего комплекса в чистом виде, не затемняя вопрос соединениями кальция и магния, остающимися в почве от разрушенного гумуса, мы произвели определение емкости обмена в безгумусных горизонтах ряда почв, причем определение емкости обмена в образцах, обработанных перекисью водорода, производилось моим углекислым методом, а в первоначальных образцах — или этим же методом (при почвах карбонатных), или определением в отдельности всех обменных катионов почвы и суммированием их *.

Емкость обмена	*мг-экв*
Серозем сильнокарбонатный, гор. 190—200 *см*	
Первоначальная почва	9,2
После очень энергичной обработки H_2O_2 (на 10 *г* почвы — 100 *см*^{3} 30%-ной H_2O_2 при кипячении на огне)	9,8
Другой разрез серозема, гор. 150—180 *см*	
Первоначальная почва	11,4
Обработанная H_2O_2	11,0
Оренбургский южный чернозем, гор. 200 *см*	
Первоначальная почва	24,5
Обработанная H_2O_2 (определение сделано Е. Н. Ивановой)	25,1
Почва из колл. Е. Н. Ивановой, гор. 170—180 *см*	
Первоначальная почва	28,6
Обработанная H_2O_2 (определение сделано Е. Н. Ивановой)	29,4

* При определении емкости обмена углекислым методом было обращено особое внимание на полноту выделения углекислых кальция и магния: многократное выпаривание досуха углекислой вытяжки, возможно быстрое выщелачивание су-

5. Влияние обработки перекисью водорода на емкость обмена иллювиального горизонта подзолистых почв Долгопрудного опытного поля*.

Полученные данные приводим в таблице.

Почвенный разрез	Емкость обмена почвы, *мг-экв*		Почвенный разрез	Емкость обмена почвы, *мг-экв*	
	первоначальной (по сумме обменных катионов)	обработанной H_2O_2 углекислым методом		первоначальной (по сумме обменных катионов)	обработанной H_2O_2 углекислым методом
I	20,3	18,5	VII	13,7	12,1
II	17,8	16,2	VIII	19,8	18,5
III	18,4	16,1	IX	17,0	15,1
IV	15,2	14,2	X	17,9	15,9
V	11,7	11,4	XI	16,8	15,1
VI	13,2	11,8	XII	18,5	18,8

В приведенных данных для почв Долгопрудного опытного поля имеются случаи отклонения величины емкости первоначальной и обработанной перекисью почвы до 2 *мг-экв*, причем всегда емкость, определенная углекислым методом, в таких случаях ниже; объясняется это тем, что как раз в этих почвах содержится заметное количество обменного водорода (до 4 *мг-экв*), в присутствии которого обработка хлористым натрием несколько разрушает поглощающий комплекс (обработка хлористым натрием велась без прибавления углекислого кальция).

Между всеми исследованными нами не содержащими гумуса горизонтами почв (в анализе у нас не было солонцеватых почв и почв, содержащих заметные количества обменного водорода) мы не встретили таких, емкость обмена которых изменялась бы сколько-нибудь заметно от обработки их перекисью водорода, как бы энергично ни производилась эта обработка. На основании этого мы считаем возможным сделать вывод, *что окисление гумуса перекисью водорода до возможно полного его уничтожения, разрушая почвенный органический комплекс и уничтожая этим ту часть обменной способности почвы, которая обусловливается этой частью почвенного поглощающего комплекса, не изменяет количественно обменной способности минеральной его части.*

Таким образом, окисление гумуса перекисью водорода дает нам возможность производить учет емкости обмена минеральной части почвенного поглощающего комплекса в отдельности; зная же обменную способность почвы, не обработанной перекисью, по разности можем узнать величину емкости обмена, приходящуюся на гумус почвы; обработка

хого остатка, а перед последней фильтрацией прокаливание сухого остатка при 250—300° для перевода $MgCO_3$ в нерастворимую окись. Обращалось внимание на полное отсутствие мутности последнего фильтрата, служащего для оттитрования соды.

* Определение отдельных обменных катионов произведено С. Г. Шедеровым, а емкости обмена углекислым методом — автором статьи.

перекисью водорода дает нам поэтому возможность изучать в отдельности емкость обмена минеральной и органической части почвенного поглощающего комплекса и определять, какое участие в обмене принимает каждая из этих частей коллоидального комплекса.

Обработка перекисью водорода дает возможность определения только лишь емкости обмена минерального поглощающего комплекса, но не состава его поглощенных катионов; по крайней мере прямыми методами этого сделать невозможно, так как после окисления гумуса состав этот сильно изменяется из-за вхождения туда большого количества аммония; тут можно рассчитывать только на какой-либо косвенный подход, с изучением химического состава солевой массы, образующейся при окислении гумуса.

Для выяснения вопроса о влиянии на емкость обмена минерального поглощающего комплекса обработки почвы перекисью водорода Mc George в цитированном ранее исследовании определил емкость поглощения до и после обработки различных естественных и искусственных минералов.

Минерал	Емкость обмена, *мг-экв*		Минерал	Емкость обмена, *мг-экв*	
	до обработки H_2O_2	после обработки H_2O_2		до обработки H_2O_2	после обработки H_2O_2
Бентонит	103	100	Синтетический K-цеолит	416	379
»	92	88	Натролит	19	8
Монтмориллонит	17	16	Ортоклаз	1,5	1,5
Продажный цеолит (Water Softener)	229	121	Бентонит	85	89
Синтетический Na-цеолит	453	406	»	108	108
			»	68	68

Кроме того, Mc George исследовал действие H_2O_2 на почти безгумусные аридные почвы; вот его результаты.

Почва	Емкость обмена, *мг-экв*		Почва	Емкость обмена, *мг-экв*	
	до обработки H_2O_2	после обработки H_2O_2		до обработки H_2O_2	после обработки H_2O_2
1	16,8	17,8	5	22,3	20,7
2	17,3	19,0	6	4,6	3,5
3	4,2	4,0	7	5,1	4,6
4	13,2	13,4	8	11,3	12,0

Общее заключение этого исследователя такое, что обработка перекисью водорода может служить для приблизительного определения обменной емкости гумуса почвы по разности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ ОБМЕНА МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПОЧВЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Мы его ведем следующим образом: 5 *г* исследуемой почвы (бо́льшую навеску даже для почв с малой емкостью обмена брать не советуем, так как дальнейшее насыщение безгумусной почвы тем или другим катионом очень затрудняется: при большой емкости обмена навеску можно и уменьшить) помещают в высокий стакан 200 *см*³ емкости, увлажняют 10 *см*³ воды, приливают 20 *см*³ 30%-ной перекиси водорода, закрывают стеклом и оставляют на некоторое время (около 30 мин.) при обыкновенной температуре, а затем или ставят в теплом месте на ночь или же, если желательно окисление гумуса закончить быстрее, ставят на кипящую водяную баню, перемешивая время от времени содержимое и наблюдая вообще за ходом окисления. Если содержимое начинает сильно пениться и появляется опасность вылезания его из стакана, то охлаждают стакан, помещая его в чашку с водой.

На следующее утро или, если стакан держался на водяной бане, то после прекращения реакции, приливают еще 10 *см*³ 30%-ной перекиси водорода и закрытый стакан снова ставят или на кипящую баню или прямо на сетке на горелку.

30 *см*³ 30%-ной перекиси водорода на 5 *г* почвы было достаточно для видимого обезгумусования самых богатых гумусов бывших в нашем распоряжении черноземов, но тем не менее мы рекомендуем еще два раза обработать почву перекисью водорода по 10 *см*³ каждый раз, т. е. на всю обработку применять при почвах, богатых гумусом, не менее 50 *см*³ 30%-ной перекиси водорода, чтобы довести обработанную почву до такого состояния, когда полуторные окислы и кремнекислота почти не переходят в водную вытяжку, так как, по-видимому, это разрушение алюмосиликатов может вызвать понижение емкости обмена минеральной части поглощающего комплекса.

Для сильно торфянистых почв для видимого удаления органических веществ приходилось прибавлять больше, иногда до 100 *см*³, для почв, бедных гумусом, этого можно достичь 20 или даже 15 *см*³. Удаление гумуса перекисью водорода в почвах, насыщенных натрием или водородом, совершается значительно быстрее, чем в тех же почвах, насыщенных кальцием и магнием. Окисление гумуса в присутствии углекислого кальция или углекислого натрия происходит очень медленно при очень бурной реакции, и в том случае, когда эти соли содержатся в значительном количестве, органические вещества остаются в почве в больших количествах неразрушенными*.

* Можем рекомендовать, между прочим, обработку перекисью водорода водных вытяжек из солонцеватых почв, когда последние богаты растворимыми гуматами. Те, кому приходилось анализировать такие вытяжки, знают, какая неприятная и длительная операция — удаление органического вещества из таких вытяжек для определения минерального остатка вытяжки, особенно если такой остаток предназначается для дальнейшего анализа, а значит, его нужно будет растворять. Мы теперь в этом случае прибегаем к такому приему: определяем остаток водной вытяж-

В полученной обезгумусной навеске взятой почвы определяют емкость обмена; при выборе метода определения емкости необходимо иметь в виду, что почва после обработки перекисью всегда содержит сульфаты, фосфаты и другие соли аммония, дающие нерастворимые соли с различными катионами; поэтому выбор катионов для насыщения и затем определения общего количества такого насытившего почву катиона очень ограничен; применять, например, барий невозможно. Наиболее подходящими методами мы здесь считаем или мой углекислый метод (т. е. насыщение натрием) или метод Kelley — насыщение аммонием.

Само насыщение можно вести двумя путями: отфильтровать жидкость, оставшуюся от операции окисления, через фильтр (бумага extra hart) и затем промывать почву взятым раствором ($NaCl$ или NH_4Cl), постепенно перенося почву на фильтр, или же вести насыщение не на фильтре, а в том же стакане, прибавив первый раз в стакан раствора взятой соли в концентрации, вдвое более высокой, чем та, которой предполагается обработка (мы обрабатываем 1,0 н. растворами, поэтому первый раз прибавляем 2,0 н. раствор), в таком количестве, чтобы в стакане набралось около 200 *см*^{3}, даем полностью отстояться жидкости и сливаем прозрачный раствор сифоном, снова приливаем раствор, взмучиваем, даем отстояться и т. д. Обычно достаточно бывает пяти сливаний. Затем переносим содержимое стакана на фильтр (extra hart) и здесь отмываем от взятого хлорида сначала чистой водой, а затем окончательно 80%-ным спиртом.

Если исследуемая почва содержит обменный водород, то мы рекомендуем *после обработки* ее перекисью водорода прибавить 0,5—1 *г* $CaCO_3$ и вести таким образом обработку хлористым натром в присутствии углекислого кальция во избежание разрушения поглощающего комплекса освобождающейся соляной кислотой. Поступать так при насыщении почвы аммонием, конечно, нельзя, так как $CaCO_3$ слишком для этого растворим в NH_4Cl; таким образом, для почв, не насыщенных основаниями, углекислый метод имеет несомненное преимущество перед методом на-

---

ки после просушивания при 105°, а затем смываем его из чашки в стакан достаточным количеством воды (или же просто берем в стакан новую порцию вытяжки для определения в отдельности суммы водонерастворимых минеральных веществ), нагреваем стакан на горелке до слабого кипения и к кипящей жидкости постепенно прибавляем 30%-ной перекиси водорода до обесцвечивания жидкости; полного обесцвечивания достичь нельзя уже потому, что темноокрашенные водные вытяжки, как правило, содержат окрашивающие жидкость железо; да оно и не нужно, так как все равно содержимое стакана после обработки перекисью водорода надо перенести и выпарить в платиновой чашке, слабо прокалить и тогда взвесить. Окислять органическое вещество сухого остатка водной вытяжки после его просушивания и взвешивания в самой платиновой чашке не следует: окисление идет очень медленно и расходуется очень много перекиси. К такому же приему мы прибегаем, когда нужно сжечь органическое вещество темноокрашенных водных вытяжек для их дальнейшего анализа: переносим вытяжку в фарфоровую чашку и на кипящей водяной бане, подкислив ее соляной кислотой, в процессе ее выпаривания прибавляем понемногу перекиси водорода, а затем заканчиваем окисление гумуса как обычно, царской водкой.

сыщения аммонием. К почвам карбонатным обработка непосредственно перекисью водорода для определения емкости обмена минеральной части почвы не применима вследствие невозможности окислить органическое вещество в присутствии $CaCO_3$; с некоторой неточностью можно это сделать, разрушив сначала почти полностью карбонаты вычисленным количеством соляной кислоты. К бескарбонатным солонцам метод вполне применим; удаление гумуса в них перекисью водорода идет даже быстрее, чем в несолонцеватых почвах.

В задачи публикуемого исследования не входило вовсе сравнительное изучение в различных почвах тех изменений, какие происходят под влиянием удаления из почвы ее гумуса обработкой перекисью водорода; это должно быть предметом дальнейших исследований и притом коллективного характера, так как, несомненно, это — задача очень обширная. Я имел в виду настоящей работой, изучением действия перекиси водорода, на подходящих объектах показать, какие изменения при такой обработке в почве происходят и что может дать эта обработка для изучения почвенных процессов и почвенных свойств. Наиболее подходящими объектами я считал возможно высокогумусные черноземы и именно их бескарбонатные слои. Вследствие указанного я не задавался целью систематического изучения роли гумуса в явлениях обмена и в частности в величине емкости поглощения с помощью обработки почвы перекисью водорода, которая, как видно из вышеизложенного, оказалась вполне пригодной для этих целей.

На основании работ с тучными черноземами с 8—11% гумуса и образовавшимися на одной и той же материнской породе (лёсс) могу сказать, что при общей их емкости обмена в 50—70 *мг-экв* на долю минерального поглощающего комплекса приходится 27—30 *мг-экв*, т. е. *на долю органической части комплекса падает около половины и даже больше обменной способности этих почв.*

Если принять во внимание, что общее содержание гумуса в этих почвах всего около 10%, а минеральной части (на воздушно-сухую почву) — около 90%, затем, если учесть, что из этого общего гумуса (или, вернее *, общего органического углерода) на долю органического поглощающего комплекса приходится всего 30—40% **, то приходится прийти

---

* Как мною отмечалось уже (см. «Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные основания...», 1927, стр. 44), гуматная часть гумуса почвы, по-видимому, имеет иной химический состав, нежели остальная его часть; она состоит из веществ, менее богатых углеродом, более окисленных: вычисляя количество ее по углероду для одного образца тучного чернозема, я получил 3,12% органических веществ в коллоидальной части этой почвы (от веса всей почвы), а определяя ее окислением марганцевокислым калием, я получил 5,7%, тогда как в первоначальной почве общее содержание гумуса обоими способами получалось почти одно и то же.

** По моему определению, в тульском тучном черноземе в почвенном поглощающем комплексе получилось органических веществ около 30% от общего содержания в почве гумуса («Почвенный поглощающий комплекс...»); по данным *А. Г. Силина* («Соотношение емкости поглощения и гуматной части в главных

к определенному выводу, что относительная роль гуматной части почвы в явлениях обмена почвы значительно бо́льшая, чем роль минерального поглощающего комплекса, т. е. единица веса гуматной части содержит значительно больше обменных оснований, нежели единица веса минеральной части коллоидального комплекса; так, в образце тульского мощного чернозема на весовую единицу гуматной части приходится в 8 с лишком раз больше обменных катионов, нежели на весовую единицу минеральных коллоидов. Теоретически, конечно, это так и должно быть: гуматная часть, без сомнения, гораздо более высокой степени дисперсности, нежели минеральные коллоиды почвы. Что касается абсолютной роли гуматной части в общей обменной способности почвы, то она, конечно, будет зависеть от содержания ее в почве, а значит, и от содержания в почве общего гумуса *.

По-видимому, имеется полное основание считать, что если гумусную почву в достаточной степени обработать перекисью водорода так, чтобы уничтожить ее органические вещества, насколько это возможно, и притом довести ее pH до 7 и выше, то минеральная часть почвы получается с почти неизменным алюмосиликатным ядром, т. е. такая, какой она была в первоначальной почве, но с одной существенной оговоркой: к первоначально присутствовавшей в почве минеральной (алюмосиликатной) части при этом прибавляется очень заметное количество простых солей, образовавшихся из элементов органического вещества (N, P, S), и присутствующих в гумусе катионов (обменных и необменных); часть этих образовавшихся солей легко растворима в воде (например, сернокислые соли аммония, натрия, калия, кальция, магния), другие трудно растворимы (фосфорнокислый кальций, кальциевые соли каких-то органических кислот, не разрушаемых перекисью водорода, углекислый кальций, образующийся в небольших количествах, когда pH обработкой перекисью водорода доведен до 7); видное место между катионами всех этих солей в такой лишенной гумуса почве занимает аммоний, образующийся в почве как продукт окисления органического азота перекисью водорода.

Появление в почве новых солей вообще и, в частности, в большом количестве нового катиона — аммония — изменяет, конечно, состав об-

---

почвенных типах Уралобласти», Пермь, 1927, стр. 34), в коллоидальной части семи исследованных им почв гуматной части содержалось от 47 до 27% от общего гумуса.

* Мы теперь можем объяснить, почему Н. И. Соколов, работая своим методом обжигания почвы при температуре не выше 300° и определяя углекислоту в обожженной почве, пришел к выводу, что гуматная часть играет сравнительно малую роль в явлениях обмена (см. «Обменная способность гуматной и минеральной частей почв».— Бюлл. отд. земледелия ГИОА, № 20, 1929). Процесс окисления гумуса при медленном обжигании, несомненно, во многом аналогичен процессу окисления перекисью водорода; кальций и магний органических веществ почвы переходят при этом далеко не целиком в углесоли, поэтому по количеству углекислоты возникших в почве углесолей после ее обжига нельзя судить о количестве обменных катионов в гуматной части; это количество углекислоты всегда будет меньше, чем количество ее, эквивалентное обменным щелочноземельным катионам гуматной части.

менных катионов, присутствующих в минеральной части почвы до обработки ее перекисью водорода. Появление новых солей и измененный состав обменных катионов — вот те особенности, которыми минеральный остаток, получившийся после удаления присутствовавшего в почве гумуса, отличается от минеральной части первоначальной почвы. Изучение физических свойств этого минерального остатка и сравнение их с физическими свойствами первоначальной гумусной почвы дает нам возможность учесть влияние гумуса на эти свойства почвы. До сих пор наши сведения об этом влиянии очень скудны, мало обоснованны и больше умозрительного характера. Теперь методом обработки почвы перекисью водорода мы имеем возможность изучать этот вопрос экспериментально; только при этом сравнительном изучении всегда надо помнить те особенности, которые приобретает минеральный остаток, получающийся от обработки почвы перекисью водорода, и о которых мы сейчас говорили, и учитывать их при исследовании.

Здесь мы коснемся лишь одного вопроса из этой большой и очень интересной области, а именно вопроса о том, как изменяется дисперсность (или коллоидальность) почвы вследствие уничтожения перекисью водорода наиболее высоко коллоидальной части почвы. Для разрешения этого вопроса я остановился на пахотном горизонте тучного чернозема Каменностепной опытной станции и применил тот метод, которым я работал в своих исследованиях по влиянию рода поглощенного катиона на ультрамеханический состав почвы *.

В литровые мерные цилиндры с притертыми пробками (цилиндры были подобраны так, чтобы у всех метка 1000 *см*^{3} была на одной и той же высоте) помещалось по 10 *г* чернозема, так или иначе обработанного, как именно — указано в таблице (чернозем, служивший для этого опыта, был растерт и просеян через сито в 0,25 *мм*); в цилиндры приливалось до литра дистиллированной воды. Содержимое тщательно взбалтывалось, и цилиндры оставлялись в покое; через 24 часа стояния точно из середины верхних 10 *см* жидкости (объем ее во всех цилиндрах — 300 *см*^{3}) автоматической пипеткой бралось по 10 *см*^{3} мутной жидкости; взятая жидкость выпаривалась в платиновой чашке, и остаток взвешивался после просушки при 105° и затем после прокаливания. Сейчас я могу опубликовать лишь определение количества в верхнем слое жидкости частиц размером мельче 0,001 *мм*; определение содержания более мелких частиц еще не закончено; результаты для частиц меньше 0,001 *мм* настолько уже показательны, что позволяют делать интересные выводы.

Прежде всего обращу внимание на цилиндры 4 и 6: в первом из них почва, обработанная перекисью водорода, вовсе не промывалась от растворимых солей и прямо переносилась в цилиндр. В ней мы не обнаружили в верхнем слое цилиндра вовсе частиц меньше 0,001 *мм*,

---

* *К. Гедройц.* Ультрамеханический состав почвы и зависимость его от рода катиона.— Журн. оп. агр., т. 22, 1923.

Влияние на дисперсность почвы окисления ее органических веществ перекисью водорода *

№ пп	Почва	Количество илистых частиц, г	
		просушено при 150°	прокалено
1	Первоначальная, не промытая водой	0,0150	0,0090
2	» слабо промытая водой	0,0348	0,0252
3	» сильно промытая водой	0,0558	0,0432
4	Обработанная H_2O_2, не промытая	0,0000	0,0000
5	» H_2O_2, слабо промытая	0,0486	0,0426
6	» H_2O_2, сильно промытая	0,3936	0,3372
7	Первоначальная, насыщенная Са	0,0372	0,0186
8	Обработанная H_2O_2, насыщенная Са	0,0666	0,0615
9	Первоначальная, насыщенная Na	1,0950	0,8466
10	Обработанная H_2O_2, насыщенная Na	1,1805	1,0380
11	Насыщенная Na и обработанная H_2O_2	1,1732	1,0140
12	Первоначальная, насыщенная Н	0,0360	0,0300
13	Обработанная H_2O_2, насыщенная Н	0,3126	0,2796

* Для этого опыта производилась очень сильная обработка перекисью водорода.

жидкость была совершенно прозрачной. Для цилиндра 6 почва после обработки ее перекисью промывалась водой, насколько это было возможно (до начинающегося прохождения мути через двойной самый плотный фильтр); в этом цилиндре было найдено в верхних 10 *см* жидкости 0,394 *г* просушенных частиц и 0,337 *г* прокаленных; сопоставление данных этих двух цилиндров указывает на обилие растворимых, свертывающих почвенные частицы солей в почве, образовавшихся после окисления гумуса.

Если мы теперь сопоставим цилиндр 6 с цилиндром 3, где была первоначальная гумусная почва, также тщательно промытая от коагуляторов, и где мы получили 0,056 *г* частиц меньше 0,001 *мм*, то увидим, что под влиянием уничтожения гумуса дисперсность почвы увеличилась чрезвычайно сильно. Каковы причины этого? Так как, как указывалось выше, обработка перекисью изменяет состав обменных катионов, а состав этот влияет, как нами давно установлено, очень сильно на дисперсность почвы, то для решения этого вопроса были поставлены цилиндры 7 и 8 с почвой первоначальной и почвой, обработанной перекисью, с полным насыщением обеих их кальцием; таким образом, в почвах обоих этих цилиндров мы имеем только обменный кальций, как мы видим. насыщение кальцием уменьшило дисперсность обеих почв: первоначальной с 0,056 до 0,037, т. е. не особенно сильно (замена небольшого количества имевшегося в почве обменного магния на более сильно сверты-

вающий кальций), а в почве, обработанной перекисью, чрезвычайно сильно,— с 0,394 до 0,067; совершенно очевидно, что высокая дисперсность почвы после уничтожения в ней гумуса перекисью водорода *вызвана главным образом особым составом ее обменных катионов*; на основании ранее изложенного можно определенно утверждать, что она вызвана вхождением в поглощающий комплекс большого количества сильно диспергирующего катиона — аммония; но вместе с тем данные цилиндров 7 и 8 показывают, что и в присутствии в поглощающем комплексе там и тут одного и того же обменного катиона (кальция) дисперсность почвы, обработанной H_2O_2, несколько выше, чем почвы с гумусом (соответственно 0,067 и 0,037); совершенно ясно, таким образом, что с уничтожением гумуса, а вместе с тем, значит, и наиболее высоко дисперсного вещества почвы повышается дисперсность минеральной части почвы.

Еще яснее это следует из сопоставления цилиндров 9 и 10, куда были помещены первоначальная и обработанная H_2O_2 почвы, обе насыщенные натрием; из результата мы видим, что дисперсность минерального остатка, насыщенного натрием, выше, чем первоначальной почвы, тоже насыщенной натрием (соответственно 1,18 и 1,09 *г*); после прокаливания и уничтожения таким образом органических коллоидов из цилиндра 9 разница получилась еще больше, а именно 1,04 и 0,85. То же подтверждают цилиндры 12 и 13: почва, обработанная перекисью водорода и полностью насыщенная водородом, оказалась также более дисперсной, нежели первоначальная почва, также насыщенная водородом (0,313 и 0,036 *г*). Таким образом, совершенно ясно, что гумус (точнее, гуматная часть) почвы, даже при полном насыщении натрием, понижает дисперсность минеральных коллоидов почвы, склеивая частички их в необратимые в воде комплексы *.

Особенно резко это выявляется следующим опытом. В своей работе «Ультрамеханический состав почвы...» я описал опыт с почти безгумусным горизонтом глинистого чернозема Кубанской области, насыщенным натрием. 20 *г* такого чернозема давали в цилиндре с водой в 200 *см*^{3} застывшую массу, занявшую объем в 180 *см*^{3}; при наклонении такого цилиндра масса почвы не изменяла своего положения. Ни с одним из черноземов, содержащих гумус, и между прочим и с пахотным горизонтом чернозема Каменностепной станции при полном насыщении натрием я не получал такого эффекта: почва занимала несколько больший объем, чем первоначальная, не насыщенная натрием, а над ней была жидкость, темноокрашенная гуматами. А с тем же каменностепным черноземом после удаления из него гумуса и насыщения натрием я получил то же явление, что и с безгумусным горизонтом кубанского чернозема: 10 *г* каменностепного чернозема, таким образом обработанные, заняли в воде

---

* Это явление впервые было отмечено А. Н. Соколовским (см. сноски в начале статьи), но он констатировал его для почв, обработанных хлористым аммонием, и неполное распыление ила при насыщении его аммонием можно было приписать (так оно в значительной степени и есть) малой распыляющей силе этого катиона.

объем около 100 $см^3$ и дали одну связную массу — сильно набухший гель.

Таким образом, наши исследования непосредственно доказывают, что гумус почвы является существенным фактором, понижающим дисперсность (коллоидальность) минеральной части почвы даже в том случае, когда гуматная часть насыщена натрием; он дает с коллоидальными минеральными частичками почвы прочные агрегаты, микроструктурные элементы, не разрушаемые водой; гумус, таким образом, является одним из существенных факторов микроструктурности почвы. В нашем частном случае среднесуглинистый пахотный горизонт каменностепного чернозема после удаления гумуса приобретает свойства тяжелого суглинка.

Совершенно ясно, что такая колоссальная способность к набуханию, какую приобретает гумусная почва, минеральный поглощающий комплекс которой насыщен натрием, а гумус удален перекисью водорода (причем отмечаю, что совершенно безразлично, когда производилось насыщение натрием почвы,— до удаления гумуса или после его удаления, ср. цилиндры 10 и 11), обусловливается тем, что в гумусной почве, насыщенной натрием, имеются микроструктурные элементы, комплексы минеральных коллоидальных частиц, склеенные органическим коллоидальным веществом, которые в этой гумусной почве водой не расклеиваются. Во всех своих работах, касавшихся влияния поглощенного натрия на распыляющее действие воды, я всегда указывал, что теоретически очень возможно, что и под влиянием поглощенного натрия вода распыляет почвенный поглощающий комплекс еще не до первичных коллоидальных частиц, но до настоящего времени я не мог дать экспериментального доказательства ни этому, ни противоположному допущению. Настоящий опыт совершенно определенно решает этот вопрос: натрий в поглощающем комплексе не способен распылить его в воде до первичных коллоидальных частиц; далее, этот опыт показывает, что одной из причин этого является гуматная часть почвы; среди ее частиц имеются такие, которые так сильно и прочно цементируют минеральные коллоиды, что вода, даже при полном насыщении почвы натрием, не может распылить эти агрегаты: в отношении структурообразования эта часть органических коллоидов, дающая такие прочные агрегаты, является наиболее деятельной, наиболее активной. Обработка почвы перекисью водорода, уничтожая этот прочный цемент, влечет за собой освобождение минеральных коллоидальных частиц из агрегатного состояния (которые сами по себе не способны склеивать и склеиваться, не активны), чем и повышает коллоидальность минерального остатка почвы.

Долгопрудное, 5 июля 1931 г.

УЧЕНИЕ О ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ [1]

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Наша эпоха строительства социализма настоятельно требует от всех нас, работников науки, сознательной, плановой реконструкции на основе марксистско-ленинской методологии той области науки, в которой каждый из нас работает, и не только требует, но и дает нам все необходимые условия для проведения этой реконструкции в жизнь.

Руководящая роль практики социалистического строительства в этой реконструкции науки должна быть отчетливо осознана каждым научным работником, определившим свое место в ряду борцов за построение бесклассового общества. Реконструкция науки, с другой стороны, настоятельно требует вместе с тем углубленной теоретической разработки вопросов, поднимаемых практикой, потому что только при этом условии можно овладеть изучаемым явлением настолько, чтобы управлять им и изменять его в желаемом направлении.

Цель настоящего предисловия — в самых кратких чертах подчеркнуть самую тесную связь предмета настоящей книги с современными запросами социалистического сельскохозяйственного производства, что я, быть может, недостаточно сделал в самом тексте книги. Главными причинами этого были: необходимость значительной переработки книги, для чего у меня к этому изданию не было времени, а в особенности недостаточность материала для такой коренной переработки, вследствие того, что, как я указывал в своей статье «Почвенный поглощающий комплекс, растение, удобрение и мелиорация», почвенный поглощающий комплекс до настоящего времени изучался преимущественно как чисто почвенное явление, с агрохимической же и агрофизической сторон им почти еще не занимались; впервые систематическая разработка агрохимических вопросов, связанных с поглощающим комплексом и явлениями поглощения, начата мною с 1930 г. на Долгопрудном опытном поле НИУ.

Я вполне понимаю, что применение учения о почвенном поглощающем комплексе и о поглотительной способности почвы к отдельным конкретным вопросам сельскохозяйственного производства чрезвычайно важно, но вместе с тем представляю себе и всю трудность этого и думаю,

---

[1] Воспроизводится по книге: «Учение о поглотительной способности почв», издание четвертое, исправленное и дополненное. М., Гос. изд-во колх. и совх. литературы, 1933.

что я смогу выполнить это для следующего издания лишь при непосредственной помощи нашего агрохимического актива, ближе меня стоящего к запросам практики и успевшего впитать в себя марксистско-ленинскую методологию.

Переходя к вопросу о практическом значении предмета настоящей книги, отмечу прежде всего, что все разработанное мною учение о почвенном поглощающем комплексе и о явлениях поглощения возникло у меня из стремления подойти к выяснению двух чисто практических вопросов, а именно способов мелиорации щелочных (солонцов) и кислых (оподзоленных) почв.

Все свойства почвы, которые в конечном счете обусловливают величину получаемого урожая, зависят в той или другой мере от величины, характера и состава почвенного поглощающего комплекса; в тесной зависимости от него находится структурность почвы, физические свойства почвы и обусловливаемые тем и другим водный, воздушный, микробиологический, питательный и санитарный режим почвы. В поглощающем комплексе, как в наиболее активной части, преимущественно перед другими частями твердой фазы почвы сосредоточивается способность почвы к реакциям. Поглощающий комплекс является той частью почвы, которой она обязана своей наиболее существенной реакцией, а именно поглотительной способностью. Эта способность почвы, играющая столь колоссальную роль во всех почвенных процессах, поэтому теснейшим образом связана с поглощающим комплексом; изучать одно без изучения другого нельзя.

Состав находящихся в почвах обменных катионов, накладывающий отпечаток на все явления в почве и в частности на взаимоотношение между почвой и растением, на производительность почвы, является результатом поглотительной способности почвы. Растение непосредственно питается тем, что находится в почвенном растворе, а это последнее есть результат состояния поглощающего комплекса и его поглотительной способности; почвенный раствор каждой почвы является производным ее поглощающего комплекса; метеорологические условия, от которых в такой сильной степени зависит урожайность, в своем влиянии на растительность преломляются через почву вообще и больше всего через ее поглощающий комплекс; этот комплекс, изменяясь с той или другой скоростью под влиянием метеорологических условий, сам в сильной степени влияет на тот эффект, который данные метеорологические условия производят на урожай. Почвенный поглощающий комплекс и связанные с ним явления поглощения на современном этапе наших знаний должны быть центральным пунктом не только почвоведения, но и агрохимии.

Учение о поглотительной способности почвы подвело теоретическую базу под практику известкования как нейтрализатора кислотности почвы; теперь идет разработка вопроса о создающемся в почве при известковании соотношении между обменным магнием и кальцием почвенного раствора, очень важного для многих культур (см. главу 7); это же учение дало возможность разработать методы мелиорации солонцов и

дать совершенно определенные указания на те опасные явления, какие могут возникнуть, и в действительности часто возникали, при орошении почв засушливых местностей, и на предупредительные меры против этих явлений.

Но больше того, теперь мы можем совершенно определенно утверждать, что естественный состав обменных катионов в почве даже тогда, когда в ней нет тех вредных катионов, которые нам приходится удалять из почвы известкованием (водородный ион) или гипсованием (катион натрия), вовсе не является оптимальным для развития растений (например в черноземах). И теоретические соображения, и имеющиеся уже у меня экспериментальные данные показывают, что не только исправлением соотношения между обменным кальцием и магнием можно достичь повышения урожая, но и введением в поглощающий комплекс очень небольших количеств самых различных катионов и в том числе таких, как обменный водород и обменный натрий, которые мы привыкли считать только вредными в почвах (в подзолистых и в солонцеватых) и до сих пор еще стараемся совершенно напрасно полностью изгнать из этих почв известкованием и гипсованием.

Здесь мы, по-видимому, имеем громадные возможности, изменяя состав обменных катионов в почве, повышать урожайность и использование урожаями как природных питательных элементов почвы, так и вносимых с удобрениями. Нужно только этот вопрос поставить на очередь дня и заняться им вплотную. В условиях современного экономического кризиса капиталистического хозяйства такое изучение может иметь лишь теоретический интерес, так как такого рода мелиорации, которые связаны с изменением состава обменных катионов в почве, не в интересах и не под силу такому строю.

Совершенно иное положение у нас. В отсталой, вчера еще раздробленной деревне строится теперь крупное социалистическое хозяйство на основе машинной техники; в этих условиях всякое достаточно разработанное мероприятие, ведущее к повышению урожайности, может быть использовано практикой. У нас, например, имеются разнообразные рудные отбросы, содержащие различные металлы, могущие действовать на растения как стимулянты; действие на растения этих отбросов необходимо исследовать; очень возможно, однако, что многие из отбросов при обычных способах их внесения в почву окажутся недействующими. Если же мы будем знать, что те элементы, которые входят в состав отбросов, действуют на растения, когда они находятся в почвенном поглощающем комплексе, то будет ясно, что причиной недействия отброса является малая активность стимулирующих элементов отброса и что для утилизации его необходимо повысить эту активность. Те же опыты с введением стимулянтов в поглощающий комплекс подсказывают и решение этой проблемы: отброс нужно измельчать до такой степени, чтобы входящие в него стимулирующие катионы перешли бы в состояние, при котором они будут способны к обмену, т. е. отброс должен быть размолот на коллоидальной мельнице до соответствующего состояния.

На этих примерах мы ясно видим, какое огромное значение имеют изучение всех свойств почвенного поглощающего комплекса в практике социалистического сельскохозяйственного производства. Решение этих вопросов вооружит наши совхозы и колхозы такими новыми методами повышения урожайности, настолько увеличит наши возможности воздействия на почву и растения при помощи химизации и механизации, что темпы развития нашего крупного социалистического хозяйства, и без того гигантские, возрастут еще во много раз.

Укажу, наконец, что почвенный поглощающий комплекс в самом широком смысле (включая сюда и биологическую часть), являясь наиболее существенной частью почвы, вместе с тем должен быть основой почвенной классификации, причем такая классификация при достаточной ее разработанности будет классификацией почвы не только как естественноисторического тела, но и как объекта агрохимии и агрофизики, т. е. такая классификация будет вместе с тем агрономической, т. е. производственной; я, конечно, вовсе не думаю, что почвенный поглощающий комплекс может быть единственным признаком для классификации, а лишь подчеркиваю, что он должен быть основным признаком.

Для создания такой классификации необходимо еще более близкое, чем у нас имеется, знакомство с поглощающим комплексом; состав обменных катионов является, как я отмечал в своей классификации, лишь одним из признаков поглощающего комплекса, и конечно, почвенная классификация, построенная на нем, не может быть совершенной; но даже и эта несовершенная классификация представляет несомненный шаг вперед уже потому, что в ней основным классификационным признаком являются не внешние в отношении почвы факторы, а внутренний признак, и она уже даже в таком виде больше дает агрономии, чем любая из существующих естественноисторических классификаций. Наконец, укажу, что из известных нам почвенных признаков только поглощающий комплекс и, в частности, содержание в нем обменных катионов может объяснить скачкообразное распространение почв, их зональность; здесь мы имеем определенный переход количества (содержание того или другого обменного катиона) в качество (тот или другой тип почвы).

В настоящее издание я, так же как и в предшествующее, не ввожу современного учения о коллоидальной мицелле. Делаю это по ряду причин и прежде всего потому, что книжку свою предназначаю для более широкого круга читателей, а не только для лиц, достаточно основательно знакомых с коллоидальной химией, что требуется для действительного понимания этой теории и умения ею пользоваться; а для владеющих этой химией могу рекомендовать книгу И. Н. Антипова-Каратаева и А. И. Рабинерсона «Почвенные коллоиды и методы их изучения» (Ленинград, 1930), в которой обстоятельно собрана литература этого вопроса.

Как я уже указал, книга эта предназначена как для учащихся соответствующих вузов, так и для агрохимического актива, научно-иссле-

довательских работников. Я обращаюсь с просьбой к первым и ко вторым прислать мне всякого рода замечания и соображения, которые, несомненно, помогут мне внести в мой труд ряд изменений на основе марксистско-ленинской методологии, что является для меня в настоящее время основной задачей *.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Настоящее второе издание моей монографии «Учение о поглотительной способности почв» преследует те же задачи и носит тот же характер, как и первое издание, появившееся в 1922 г.

Целью монографии является прежде всего изложение этого многообразного весьма существенного явления в жизни почвы в том виде, в каком я его представляю себе, и главным образом на основании своих собственных исследований, а так как вторая цель, которую я преследовал, была та, чтобы дать руководство для студентов высших учебных заведений и начинающих почвоведов, то в самом изложении я старался быть возможно популярным и не загромождать его теориями и гипотезами, бо́льшая часть которых для понимания требует довольно значительных познаний в физической и коллоидальной химии, а вместе с тем для познания самого явления дает немного. Поэтому всюду я стараюсь дать самое простое толкование наблюдаемым фактам.

В связи с некоторыми новейшими работами исследователей в этой области, разъясняющими и дополняющими явление поглощения, и моими последними исследованиями почвенного поглощающего комплекса, настоящее издание значительно дополнено и несколько переработано.

Должен отметить, что в связи с вышеуказанным я не задавался задачей охватить более или менее полно всю современную литературу вопроса о явлениях поглощения в почве и, между прочим, кроме замечаний общего характера не касаюсь новейших работ об изменении емкости поглощения почвы под влиянием обработки почвы различными веществами (исследования Аскинази, Бобко, Роде, Тюлина и др.) и под влиянием изменения внешних условий (работы Винокурова, Масловой и др.), так как вопросы эти недостаточно еще оформились для внесения соответствующих изменений в основы учения о поглотительной способности почвы.

Автор

Ленинград
Лесной институт, 1928 г.

---

* Адрес: Московско-Савеловская ветка Северной ж. д., ст. Долгопрудная, Опытное поле. Акад. К. К. Гедройц.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы, происходящие в почвенном теле, по своему многообразию и по сложности многих из них соответствуют сложности самого этого тела, многочисленности и крайнему разнообразию соединений, слагающих его.

Присутствие в почве колоссальных иногда количеств живых организмов, ведущих здесь свою разрушительную и созидательную работу, присутствие здесь минеральных и мертвых органических веществ в мелкораздробленном состоянии и потому обладающих особенно резко выраженной способностью к химическим реакциям, присутствие веществ, легко окисляющихся и восстанавливающихся, присутствие веществ как минеральных, так и органических, очень сложных по своему химическому составу и потому мало устойчивых, легко изменяющихся и упрощающихся,— все это вместе делает почву вместилищем самых разнообразных химических и физико-химических процессов. Положение значительно усложняется еще тем, что почва представляет собою пористое тело, пронизанное сложной сетью капиллярных и некапиллярных ходов; циркулирующие по этим ходам почвенные воды могут перемещать сверху вниз и в обратном направлении, а также в горизонтальном направлении растворимые и коллоидально распыленные почвенные соединения и растворимые продукты различных почвенных реакций; перемещаемые таким образом вещества, поступая из мест своего существования или образования в новые участки почвы, могут вступать здесь в новые реакции химического, физического, физико-химического и биологического характера.

Таким образом, жизнь почвы, почвенная динамика, представляет явление чрезвычайной сложности, и потому вполне понятно, что наши знания в этой области, несмотря на массу затраченного уже труда для изучения ее, весьма скудны; мы не можем даже сейчас планомерно подходить к исследованию многих вопросов из этой области вследствие ряда причин: полного отсутствия намеков на необходимую для этого методику исследования, неразработанность тех или иных областей других наук, на которых почвоведению приходится базироваться, и т. д.

Кроме вышесказанного колоссальное препятствие в деле изучения почвенных процессов представляет малое знакомство наше с составом почвенной системы в данный момент, т. е. со статикой этой системы. Наши представления о ней очень примитивны, и это относится как ко всей почвенной системе, так и в частности к отдельным ее фазам и особенно к твердой фазе. Мы знаем, что в ней содержатся организованная материя, мертвое органическое вещество, минералы, продукты их распада и продукты синтеза, и затем у нас имеются лишь общие соображения насчет того, какие именно отдельные соединения могут входить в ту или другую из этих групп: но эти соображения имеют именно лишь общий характер, относятся к почве вообще, а не к каждому конкретному случаю, не к каждой данной почве и не к каждому ее

генетическому горизонту. Ответить хоть сколько-нибудь удовлетворительно на вопрос, из каких именно соединений состоит твердая часть данной почвы, мы в настоящее время еще совершенно не в состоянии. А это обстоятельство, т. е. невозможность знать даже более или менее точно состав сходных соединений в данной почве, крайняя условность наших сведений в этом отношении, не дает возможности прямо подойти к изучению почвенной динамики и делает наши выводы и предположения недостаточно обоснованными и гадательными. Положение вещей в этой области в общем таково, что о самой статике почвы очень часто приходится заключать на основании наших скудных и недостаточно обоснованных сведений о почвенных процессах.

В настоящее время можно уже довольно определенно утверждать, что старыми методами, и в том числе химическим анализом даже отдельных фракций почвы, разрешить вопрос о составе соединений почвы не представляется возможным; тот состав, который может быть получен различного рода вычислениями из данных элементарного химического состава, нужно рассматривать лишь как первое приближение к истинному составу, и приближение, несомненно, очень отдаленное. Для более удовлетворительного разрешения этого очень важного вопроса, задерживающего очень сильно дальнейшее движение почвоведения, нужно искать новые пути, новые методы. Одним из таких методов, несомненно, является изучение почвы с помощью рентгеновских лучей; попытки применения их к коллоидальной части почвы уже имеются; можно только пожелать широкого использования и приспособления этого метода к изучению почв.

В области динамики почвы внимание исследователей давно уже привлекли процессы, происходящие при взаимодействии твердой и жидкой фаз почвы, а именно процессы выноса из твердой фазы различных веществ, являющиеся результатом как растворяющего действия почвенных растворов, так и коллоидально распыляющей способности их, а также процессы обратного характера — задерживание твердой фазой почвы веществ, находящихся в растворенном состоянии и в коллоидальном распылении в жидкой фазе почвы. Вся совокупность этих последних процессов носит общее название поглощения почвой, а способность почвы совершать эти процессы называется ее поглотительной способностью в самом широком смысле этого слова.

Глава 1. ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ И ЕЕ ВИДЫ

Под поглотительной способностью почвы в самом широком смысле этого слова мы будем понимать способность ее задерживать те или другие вещества, приходящие в соприкосновение с ее твердой фазой через циркулирующие в ней воды. Таким образом могут задерживаться соединения или части их, находящиеся в растворенном состоянии, а также

коллоидально распыленные частички минерального и органического вещества, живые микроорганизмы и грубые суспензии.

В зависимости от того, каким способом почва поглощает, какой при этом совершается процесс, можно различать следующие виды поглотительной способности: 1) механическая поглотительная способность почвы; 2) физическая (адсорбция); 3) физико-химическая, или поглотительная способность в тесном смысле этого слова, или обменная способность (обменная адсорбция); 4) химическая и 5) биологическая. Параллельно с различием самого характера поглощения эти виды поглотительной способности отличаются друг от друга тем, что именно поглощается почвой и какова судьба поглощенного вещества.

Сначала мы дадим краткую характеристику каждого из видов поглотительной способности, а затем перейдем к подробному их описанию.

Механической поглотительной способностью мы будем называть свойство почвы, как всякого пористого тела, не пропускать через себя, задерживать частицы, взмученные в фильтрующейся через почву воде, раз эти частицы больше некоторой величины. Благодаря этому виду поглотительной способности почва задерживает коллоидально распыленные вещества, если коллоидальные частицы крупнее данной величины, и грубые суспензии. Задержанные алюмосиликатные и органические частички примешиваются к твердой фазе почвы, вступая с нею в более или менее прочные соединения в зависимости от их состава, дисперсности и других свойств (например, электрического заряда).

Физическая поглотительная способность почвы состоит в следующем. На поверхностях соприкосновения твердой фазы почвы и почвенного раствора имеется поверхностное натяжение, а так как твердая фаза почвы представляет собою раздробленную, иногда в некоторой своей части высокодисперсную фазу, то система — почва+почвенный раствор — обладает вообще поверхностной энергией, величина которой в некоторых случаях в такой системе может быть очень значительной. Присутствие в почвенных системах свободной поверхностной энергии вызывает сконцентрирование или разжижение растворенных в почвенном растворе веществ у поверхности соприкосновения твердых частичек почвы с почвенной влагой; растворенное вещество как бы притягивается или отталкивается поверхностью твердых частиц почвы. Такому сгущению на поверхности почвенных частиц подвергаются ц е л ы е молекулы растворенных в почвенной влаге электролитов, а также основные продукты гидролитического расщепления солей слабых кислот и сильных оснований; отталкивание же, т. е. уменьшение концентрации у поверхности почвенных частиц, имеет место, по-видимому, в отношении целых молекул и анионов.

Физико-химическая или обменная поглотительная способность почвы заключается в том, что почва способна обменивать некоторую часть содержащихся в твердой ее фазе катионов на эквивалентное количество катионов, находящихся в соприкасающемся с нею растворе; между катионами твердой фазы почвы и катионами почвенного раствора всегда устанавливается равновесие. Поглощаемый из раствора при этом катион

или поглощаемые катионы, если их в растворе несколько в том или другом количестве исчезают из раствора и становятся в соединения твердой фазы почвы, а вместо них в раствор переходит из твердой фазы почвы эквивалентное количество другого или других катионов. **Такой обмен катионов** может, в зависимости от рода катионов, в той или другой степени повлиять на физические и химические свойства почвы, так как те и другие находятся в тесной зависимости от рода катионов, входящих в поглощенном состоянии в твердую фазу почвы.

Химическая поглотительная способность почвы выражается в том, что те анионы растворенных солей, которые дают с катионами, находящимися в почвенном растворе, нерастворимые или малорастворимые соли, будут выпадать из раствора в виде соответствующих солей; выпадающий осадок будет примешиваться к твердой фазе почвы.

Биологическая поглотительная способность почвы обязана своим существованием растениям и микроорганизмам, населяющим почвы. Те и другие в процессе жизнедеятельности поглощают из почвенного раствора различные вещества; эти вещества исчезают из раствора и перерабатываются в вещества тела поглощающих их организмов.

После этих кратких определений различных видов поглотительной способности почвы переходим к детальному их рассмотрению.

Глава 2. МЕХАНИЧЕСКАЯ ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ

Почва состоит из отдельных частичек, или зерен, называемых механическими элементами; величина этих зерен в одной и той же почве колеблется в очень широких пределах; так, во всех почвах мы можем найти механические элементы от 1 *мм* и до 5 *нм* в диаметре, только в различных почвах относительное количество частиц различного диаметра, т. е. так называемый механический состав почвы, будет различен. Встречаются почвы, содержащие и более крупные механические элементы, нежели в 1 *мм* диаметром. Эти механические элементы представляют кристаллы различных алюмосиликатов и силикатов (макрокристаллы, микрокристаллы, ультрамикрокристаллы и амикрокристаллы; последние уже настолько мелки, что их кристаллическое состояние не может быть обнаружено имеющимися методами — состояние, обозначаемое «аморфным»; постепенно, по мере развития методики констатирования кристалличности все в более и более мелкораздробленном состоянии вещества, максимальный размер частиц, относимых к аморфным, все понижается, и несомненно, наступит время, когда будет доказано, что кристаллическое состояние есть всеобщее состояние материи).

Как бы плотно ни прилегали отдельные частички друг к другу, в массе их между ними всегда будут оставаться пространства, поэтому почва при всяком уплотнении представляет собою пористое тело. Между отдельными механическими элементами, слагающими это тело, между об-

разуемыми этими элементами комплексами — структурными элементами почвы — имеются пространства, образующие очень сложную сеть переплетающихся между собою и прерывающихся канальцев самого разнообразного диаметра. Характер этой системы каналов в отношении их расположения, взаимной связи и величины диаметров зависит от механического состава минеральной и органической части почвы, от количественного соотношения между этими частями и от сложения почвы.

Относительно влияния этих факторов на расположение и взаимную связь каналов мы знаем только, и то на основании общих соображений, что такое влияние имеет место, но как оно проявляется, нам совершенно неизвестно. Относительно величины диаметра можно сказать, что каналы эти в большинстве принадлежат к капиллярам, хотя в каждой почве могут быть в большем или меньшем количестве более крупные поры, и что чем мелкозернистее почва, тем меньшего диаметра будут ее капилляры; в том же направлении влияет и уплотнение почвы; в одной и той же почве при более плотном сложении капилляры будут мельче, чем при более рыхлом сложении. Гумус уменьшает плотность мелкозернистых почв и увеличивает плотность крупнозернистых; очевидно, чем больше гумуса в почве, тем это влияние будет сильнее. Особенно сильное влияние на величину, расположение и связь каналов в почве оказывает состояние структурности почвы; почва, лишенная вовсе некапиллярных каналов, обладающая только капиллярными пространствами в в бесструктурном состоянии, будет при известной структуре иметь наряду с мелкими капиллярами сеть более крупных каналов, включительно до каналов, не выявляющих уже капиллярных явлений.

Если через почву в естественном ее сложении или искусственно насыпанную в трубку фильтровать воду со взмученными в ней твердыми частичками, то, очевидно, частички эти будут или проходить вместе с водою через почву, или будут задерживаться почвою, в зависимости от их крупности, величины диаметров почвенных капилляров и их расположения; для каждой данной почвы при определенном ее сложении и при определенной мощности слоя, через который фильтруются взмученные частички, можно установить: 1) ту предельную величину частичек, ниже которой они вовсе не задерживаются в почве, а проходят через ее капилляры, и 2) ту предельную величину частичек, выше которой ни одна из них не будет профильтровываться через взятый слой почвы. Частицы с размерами между этими двумя величинами будут отчасти профильтровываться, а отчасти задерживаться взятой почвою вследствие того, что капилляры в почве неодинакового диаметра и не представляют прямо идущих и непрерывных каналов. Две вышеуказанные предельные величины частиц изменяются не только с переходом от одной почвы к другой, но и для одной и то же почвы они будут иными, если фильтрацию производить через колонны почвы различной высоты: чем больше высота почвенного слоя, тем меньше величина частиц, ниже которой они вовсе не задерживаются, и тем меньше величина частиц, выше которой все частицы задерживаются почвой, и наоборот.

Нужно иметь в виду, что почва будет задерживать фильтрацию не только тех частиц, диаметр которых больше диаметра почвенных каналов. Частицы и более мелких размеров могут задерживаться в почве вследствие: 1) прерывистости этих ходов, 2) искривления их, 3) существования молекулярного притяжения у мелких почвенных частиц, величина которого увеличивается с уменьшением диаметра частицы. В силу этих причин почвенная частичка, попавшая в почвенный каналец, более широкий, чем ее диаметр, может остановиться в своем движении, дойдя до его конца или приставши где-нибудь к его стенке: а раз последнее случится, в этом месте будут задерживаться уже и другие мелкие частички, которые без этого могли бы свободно двигаться по данному ходу. Это свойство почвы не пропускать через себя, задерживать частицы, взмученные в воде, мы называем *механической поглотительной способностью*.

Этим свойством поглощать суспендированные частицы объясняется явление, часто наблюдаемое при приготовлении водных вытяжек: если взболтать с водою достаточно мелкозернистую почву, бедную гумусом и растворимыми солями, и дать вытяжке достаточно отстояться, после чего фильтровать мутную жидкость, то, даже применяя самый плотный фильтр, не удается отфильтровать жидкость более или менее прозрачной; чем почва будет богаче илистыми частицами, тем мутнее будет фильтрат, и перефильтрование фильтрата через новый фильтр не будет почти помогать делу; это потому, что самая плотная фильтровальная бумага (602 extra hart) имеет поры около 1,5 *мкм* и потому пропускает илистые почвенные частицы.

Если же фильтровать ту же вытяжку, не давая отстояться главной массе почвы, а перенося последнюю в возможно большем количестве на фильтр, то можно добиться вполне прозрачного фильтрата, вовсе лишенного мути; почва, попавшая на фильтр, в этом случае благодаря механической поглотительной способности задерживает те мелкие частицы, которые при ее отсутствии свободно проходят через фильтр. Таким способом некоторые почвы могут задерживать даже при небольшом слое чрезвычайно мелкие частицы; есть почвы, например такие, которые при слое в 5—10 *см* задерживают целиком коллоидальные частички кремнекислоты и гидратов окисей железа и алюминия при фильтрации их гидрозолей. Наши исследования по фильтрации различных почвенных мутей через остатки от водной вытяжки почв различного механического состава, помещенные на воронки с фильтрами, показали, что минеральная коллоидальная часть почвы может полностью задержаться 200 *г* тяжелой суглинистой почвы, причем главная масса частиц такой суспензии задерживается в самом верхнем слое почвы толщиной всего лишь в несколько миллиметров. Вместе с тем, эти опыты показали, что ни одна из исследовавшихся в этом отношении почв не задерживала вовсе выделенной из почв, насыщенных натрием, гуматной части почвы; черные растворы этой части почвы проходили через почву на воронке без понижения концентрации.

Очевидно, что благодаря механической поглотительной способности

передвижение отдельных микроорганизмов в почве должно быть очень затруднено. Все микроорганизмы, видимые даже лишь в самый сильный микроскоп (предел видимости у обыкновенного микроскопа — 0,25 *мкм*), должны задерживаться целиком слоем в несколько сантиметров почвы даже среднего механического состава. Если же принять во внимание, что почвенные микроорганизмы подобно частицам минерального и мертвого органического вещества, имеющим такие же размеры, находятся в почве, как общее правило, не в раздельном состоянии, а в виде более или менее прочных комплексов между собой и с почвенными частицами (об этом подробнее сказано ниже), то будет совершенно ясно, что механическая поглотительная способность почвы должна играть существенную роль в распределении микроорганизмов в почвенном разрезе.

Целый ряд существенных вопросов почвоведения тесно связан со способностью почвы задерживать или пропускать на ту или иную глубину вместе с просачивающейся через почву водой почвенные твердые частички различной величины. Таковы, например, вопросы, связанные с образованием иллювиальных горизонтов. Но механическая поглотительная способность почвы до настоящего времени почти вовсе еще не изучена, и законы, управляющие этим поглощением, нам неизвестны.

Глава 3. ФИЗИЧЕСКАЯ ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ

Влажная почва представляет дисперсную систему, в которой почвенный раствор является дисперсионной средой, а почвенные органические и минеральные частицы дисперсной фазой. Такая система в зависимости от механического состава почвы (от степени дисперсности почвенных частиц) обладает поверхностной энергией той или другой величины. Поверхностная энергия всякой системы измеряется произведением поверхностного натяжения, имеющегося на границе соприкосновения частиц дисперсной фазы с дисперсионной средой, на величину общей поверхности всех частиц дисперсной фазы.

Поверхностное натяжение почвенных растворов представляет вообще величину очень небольшую (в общем оно очень мало отличается от поверхностного натяжения чистой воды, т. е. около 75 дин на 1 *см*), и поэтому величина поверхностной энергии в почвенных системах будет обусловливаться вторым множителем, т. е. величиной общей поверхности твердой фазы почвы. Если эта фаза крупнозернистая (например, песчаные почвы), то величина общей поверхности почвенных частиц будет сравнительно небольшой и произведение из этой величины на поверхностное натяжение будет невелико. В такой почвенной системе поверхностная энергия будет тоже небольшой, а поэтому она не будет играть особой роли в почвенных процессах вообще. Иное дело, если почва мелкозерниста, если она содержит много ила и особенно если этот ил богат коллоидальной фракцией (частицы с диаметром, меньшим 0,25 *мкм*).

Содержание же коллоидальной фракции в различных почвах колеблется в очень широких пределах — от величин немногим больше нуля и до 75% и выше от веса почвы; если принять еще в соображение, что ультрамеханический состав коллоидальной фракции у различных почв может быть очень различен, то станет совершенно понятным, насколько сильно почвы могут различаться между собой по величине поверхностной энергии, а вместе с тем по интенсивности их динамики.

Чтобы показать, как сильно возрастет поверхность тела по мере его раздробления, возьмем куб с ребром в 1 *см* и будем его дробить на более мелкие кубики таким образом, чтобы получающиеся кубики имели ребро в 10 раз меньше, чем первоначальный каждый из предыдущих кубиков до дробления. Из нижеследующей таблицы мы видим, что с каждым последовательным раздроблением указанным выше способом тело, сохраняя, конечно, свой первоначальный объем, увеличивает общую поверхность в 10 раз.

Возрастание величины поверхности куба при последовательном десятикратном дроблении

Длина ребра куба	Число кубов	Общая поверхность	Удельная поверхность
1 *см*	1	6 *см*^{2}	6
1 *мм* = 1×10^{-2} *см*	10^3	60	$6 \cdot 10^1$
0,1 *мм* = 1×10^{-1} *см*	10^6	600	$6 \cdot 10^2$
0,01 *мм* = 1×10^{-3} *см*	10^9	6000	$6 \cdot 10^3$
1 *мкм* = 1×10^{-4} *см*	10^{12}	6 *м*^{2}	$6 \cdot 10^4$
0,1 *мкм* = 1×10^{-5} *см*	10^{15}	60	$6 \cdot 10^5$
0,01 *мкм* = 1×10^{-6} *см*	10^{18}	600	$6 \cdot 10^6$
1 *нм* = 1×10^{-7} *см*	10^{21}	6000	$6 \cdot 10^7$
0,1 *нм* = 1×10^{-8} *см*	10^{24}	60000	$6 \cdot 10^8$
0,01 *нм* = 1×10^{-9} *см*	10^{27}	600000	$6 \cdot 10^9$
0,001 *нм* = 1×10^{-10} *см*	10^{30}	6 *км*^{2}	$6 \cdot 10^{10}$

Если допустить, что почвенные частицы имеют шарообразную форму, то величина поверхности всех почвенных частиц в слое в 10 *см* на 1 *га* при различном механическом составе почвы выразится следующими величинами.

Если все частицы этого слоя имеют диаметр:

1 *см*, то общая поверхность будет равна $36 \cdot 10^{-2}$ *км*^{2} = 36 *га*
1 *мм* » » » » $36 \cdot 10^{-1}$ *км*^{2} = 360 *га*
0,1 *мм* » » » » $36 \cdot 10^{0}$ *км*^{2} = 3600 *га*
0,01 *мм* » » » » $36 \cdot 10^{1}$ *км*^{2} = 36000 *га*
0,001 *мм* » » » » $36 \cdot 10^{2}$ *км*^{2} = 360000 *га*
0,0001 *мм* » » » » $36 \cdot 10^{3}$ *км*^{2} = 3600000 *га*
0,00001 *мм* » » » » $36 \cdot 10^{4}$ *км*^{2} = 36000000 *га*

Приведенная таблица дает возможность по механическому составу почвы вычислить общую поверхность всех почвенных частиц на 1 *га* при той или иной толщине слоя. В среднем можно считать, что коллоидальные частицы почвы имеют диаметр около 0,0001 *мм*; принимая во внимание, что по имеющимся данным в почвах механической фракции 0,001—0,0001 *мм* («подколлоидальная» фракция) вообще очень мало (имею в виду определение механических фракций в почве после полного насыщения ее натрием), мы видим, что уже при содержании в почве только 10% коллоидов преобладающее значение в величине общей поверхности приобретает коллоидальная часть почвы: ее поверхность в этом случае в 10 *см* на 1 *га* будет равна $36 \cdot 10^3$ *км*^{2} (или 3 600 000 *га*), тогда как остальные 90% механических элементов, если даже все они представлены частичками с диаметром в 0,001 *мм*, будут иметь поверхность всего около $36 \cdot 10^2$ *км*^{2}; содержание коллоидальной части почвы должно понизиться до 1%, чтобы участие ее в общей поверхности сравнялось при сделанных нами допущениях с остальными 99% механического состава почвы; та и другая части будут иметь в этом случае около $36 \cdot 10^2$ *км*^{2} поверхности в слое 10 *см* на 1 *га*.

Значение поверхностной энергии в почвенных системах заключается в том, что она, будучи свободной энергией, может производить работу и потому является источником энергии для разнообразных почвенных процессов. Мы знаем, что явления, совершающиеся в дисперсной системе, подчинены основному закону коллоидальной химии, гласящему: «*всякая дисперсная система стремится всеми находящимися в ее распоряжении средствами уменьшить свою свободную поверхностную энергию*». Так как поверхностная энергия равняется произведению общей поверхности дисперсной фазы на поверхностное натяжение на границе соприкосновения частиц этой фазы и дисперсионной среды, то стремление системы к уменьшению поверхностной энергии выражается в стремлении ее всеми средствами уменьшить величину общей поверхности, т. е. понизить степень дисперсности и уменьшить величину поверхностного натяжения дисперсионной среды, в нашем случае — почвенного раствора. В почвенных дисперсных системах — почва+вода (или почвенный раствор какой-либо соли) можно наблюдать явления, связанные как с тем, так и с другим способом понижения поверхностной энергии.

А. ФИЗИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ С ПОНИЖЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ

Мы сейчас остановимся на явлении так называемой физической адсорбции *, или *физической поглотительной способности почвы*, вызываемой стремлением почвенной системы *понизить поверхностное натяжение почвенного раствора*.

* Под адсорбцией понимается уплотнение жидкой или газообразной фазы на поверхности твердого тела; если же имеет место проникновение газа или жидкости внутрь твердого вещества, то это явление называется абсорбцией.

Поверхностное натяжение воды при данной температуре есть величина вполне определенная (при 0° оно равняется 75,5 дины на 1 *см*), но оно может быть изменено внесением в воду посторонних веществ. Имеются вещества, понижающие поверхностное натяжение воды; к таковым относятся, между прочим, многие органические соединения (органические кислоты и основания, спирты, высокомолекулярные вещества, как то: алкалоиды и краски и др.); вещества эти, будучи растворимыми в воде, вообще сильно понижают ее натяжение и притом тем сильнее, чем выше их концентрация в водном растворе; так, например, уксусная кислота в зависимости от ее концентрации в воде следующим образом понижает поверхностное натяжение воды (поверхностное натяжение чистой воды принято за единицу):

Содержание уксусной кислоты в 100 частях раствора	Поверхностное натяжение, % от натяжения чистой воды	Содержание уксусной кислоты в 100 частях раствора	Поверхностное натяжение, % от натяжения чистой воды
1	0,94	60	0,50
5	0,82	80	0,46
10	0,74	100	0,40
20	0,64		

Имеются и такие соединения, которые действуют на поверхностное натяжение воды в обратную сторону, повышают его; к таковым относятся неорганические соли, кислоты и основания, а также органические соединения с большим количеством гидроксилов в молекуле (сахар); как видно из нижеследующей таблицы, вещества эти значительно слабее повышают поверхностное натяжение, нежели вещества предшествующей группы понижают его; при этом некоторые из только что перечисленных соединений не повышают, а даже несколько понижают поверхностное натяжение (например, азотная и соляная кислоты).

Влияние солей в концентрации 1,498 *г-моль/л* на поверхностное натяжение воды при 18°

(поверхностное натяжение чистой воды — 75,3 *дин/см*)

	H	Li	Na	K	NH_4
J	—	76,5	76,9	76,8	76,4
NO_3	74,2	77,2	77,2	76,9	77,0
Cl	74,9	77,7	77,8	77,6	77,4
SO_4	76,0	79,2	—	—	79,0
CO_3	—	—	79,4	79,9	—

Стремление дисперсной системы понизить поверхностное натяжение дисперсионной среды может в силу указанного влияния растворенных веществ на это натяжение осуществиться изменением концентрации этих

веществ в слое дисперсионной среды, непосредственно примыкающем к поверхности дисперсных частичек; если почвенный раствор содержит вещества, понижающие поверхностное натяжение воды, а значит, повышение концентрации такого вещества в растворе уменьшает поверхностное натяжение воды (как, например, в случае уксусной кислоты), то вследствие стремления системы — почва+раствор такого вещества — уменьшить поверхностное натяжение, это вещество будет концентрироваться в слое воды у поверхности частиц, или, как принято выражаться, оно будет адсорбироваться на поверхности почвенных частичек; раствор такого вещества, смешанный с почвою, будет неоднороден в различных местах системы; если рассматривать две соседние почвенные частицы, то у самой поверхности частичек будем иметь наиболее концентрированный раствор, а по мере удаления от частичек к средней точке между ними концентрация раствора будет понижаться. Описанное здесь явление повышения концентрации растворенного вещества в слое дисперсионной среды, непосредственно примыкающем к частицам дисперсной фазы, носит название положительной адсорбции.

Вещества второй группы, повышающие своим присутствием поверхностное натяжение дисперсионной среды, вызывают обратное явление на отрицательную адсорбцию; растворы этих веществ в воде тем сильнее повышают поверхностное натяжение, чем они более концентрированы, и потому стремление дисперсной системы понизить поверхностную энергию достигается тем, что в слое дисперсионной среды, примыкающем к частицам, возникает более низкая концентрация растворенного вещества, нежели в остальной части жидкости. При веществах первой группы дисперсная фаза, таким образом, как бы притягивает из дисперсионной среды к своей поверхности растворенные вещества (положительная адсорбция), а при веществах второй группы как бы отталкивает их от своей поверхности (адсорбция отрицательная).

Приведенные выше соображения опираются на теорему Гиббса, выведенную им на основании [законов] термодинамики для явлений адсорбции в газовых смесях. Теорема эта гласит: «поверхность раздела дисперсионной среды и дисперсной фазы имеет концентрацию иную, чем в остальной части; вещества, понижающие поверхностное натяжение чистой дисперсионной среды, стремятся сконцентрироваться на поверхности раздела и этим уменьшить поверхностную энергию системы; обратно, вещества, повышающие поверхностное натяжение чистой дисперсионной среды, стремятся разжижиться на поверхности раздела, чтобы этим уменьшить поверхностную энергию системы».

Эта теорема выражена Гиббсом следующей формулой:

$$U = -\frac{CdS}{RTdC},$$

где U — избыток положительный или отрицательный растворенного в дисперсионной среде вещества (выраженный на единицу поверхности дисперсной фазы) по сравнению с тем его количеством, которое было

бы в отсутствие действующей поверхности; C — концентрация растворенного вещества в дисперсионной среде; T — абсолютная температура; R— постоянная уравнения $pV=RT$; S — поверхностное натяжение; dS/dC — частная производная, выражающая уменьшение или увеличение поверхностного натяжения с увеличением концентрации растворенного вещества; в первом случае эта величина отрицательная, а во втором — положительная; а потому в первом случае вся правая часть уравнения будет положительной (так как перед нею стоит минус), а во втором — отрицательной.

Таким образом, из приведенной формулы вытекает следующее:

1) если с увеличением концентрации растворенного вещества в дисперсионной среде поверхностное натяжение понижается, то адсорбция будет положительная;

2) если с увеличением концентрации растворенного вещества в дисперсионной среде поверхностное натяжение повышается, то адсорбция будет отрицательной.

Поверхностью твердого тела адсорбируются молекулы растворителя (в нашем случае — воды) и растворенного вещества. При положительной адсорбции в большей степени поглощается растворенное вещество, при отрицательной адсорбции — растворитель. Вокруг почвенного механического элемента образуется слой связанной с ним жидкости с бо́льшим или меньшим содержанием растворенного вещества. Связь получающейся вокруг почвенной частички водной оболочки с самой частичкой неодинакова в различных местах оболочки; чем дальше от поверхности частички, тем связь эта все слабее и слабее; это относится и к молекулам и ионам растворенного в почвенном растворе вещества.

Многочисленные экспериментальные исследования над взаимоотношением мелкораздробленных порошков (например угля) и растворов веществ первой группы (понижающих поверхностное натяжение) совершенно определенно подтвердили первое из приведенных выше теоретических положений.

Вот например, положительная адсорбция кровяным углем ацетона в воде; C — концентрация ацетона в молях на литр, a — количество адсорбированного ацетона в миллимолях на грамм угля (по L. Michaelis):

C	a	C	a
0,00234	0,208	0,08864	1,500
0,01465	0,618	0,17759	2,080
0,04103	1,075	0,26897	2,880

С увеличением концентрации воздействующего на уголь вещества (в вышеприведенной таблице — ацетона) увеличивается и количество поглощенного вещества одним и тем же количеством поглотителя («адсорбент»). Уравнение, связывающее концентрацию C — адсорбируемого вещества после установления равновесия в дисперсной системе, и количе-

ство поглощенного вещества a, может быть написано в такой форме:

$$a = \alpha \cdot C^{\frac{1}{n}}, \qquad \text{где } \alpha \text{ и } \frac{1}{n} \text{ — постоянные}$$

Количество поглощаемого вещества зависит и от количества взятого поглотителя; так например, при действии на различные количества (m) угля 50 *см*^{3} раствора уксусной кислоты, содержащего 6,5175 *ммол* уксусной кислоты, поглощались следующие количества (a) последней (m в граммах, a в миллимолях):

m	a	m	a
0,187	0,2091	1,234	1,3075
0,338	0,3908	1,957	1,9394
0,765	0,8636	3,445	2,9229

Так как почва представляет собой также мелкораздробленную дисперсную фазу, то несомненно, между нею и веществами первой группы, растворенными в соприкасающейся с почвой жидкостью, будет иметь место положительная адсорбция или положительное физическое поглощение; это поглощение мы называем физическим, как обусловленное чисто физическими причинами; поглощенное из раствора таким способом вещество будет находиться в растворе же, но в слое жидкости, непосредственно соприкасающемся с твердыми частичками почвы.

Положительная физическая адсорбция почвой растворимых веществ экспериментально еще недостаточно доказана. Причиной этого прежде всего являются те затруднения, какие становятся перед исследователем, когда в подобных опытах в качестве поглотителя берется почва; появляется целый ряд привходящих явлений, отсутствующих при экспериментировании, например с углем; вследствие сложности почвы между нею и солевым раствором могут протекать очень разнообразные реакции (физико-химическое, химическое и биологическое поглощение, растворяющее действие взятого раствора на почвенные соединения и т. п.), которые могут затемнить, стушевать в окончательном итоге, учитываемом исследователем, явление физического поглощения. Одно можно, повидимому, определенно сказать, что с количественной стороны это поглощение значительно уступает физико-химическому и химическому поглощению.

Недавно Н. В. Лобанов * сделал интересную попытку подойти к вопросу о физическом поглощении в почве путем введения в почву поверхностно-активных веществ, сильно понижающих поверхностное натяжение почвенного раствора и поэтому уменьшающих объем почвенного раствора, адсорбированный почвенными частичками; вследствие этого

* *Н. В. Лобанов.* К вопросу о физической адсорбции почвами нитратов и фосфатов.— Изв. Иваново-Вознесенск. политехн. ин-та, т. XII, 1928, стр. 75

уменьшения остальная масса почвенного раствора должна обогатиться теми веществами, которые были в ней до введения поверхностно-активного вещества положительно адсорбированными, и обратно, обеднить-ся веществами, бывшими раньше отрицательно адсорбированными. Применяя этот метод и обычный метод выжимки из почвы почвенного раствора, Лобанов констатировал, что в присутствии изоамилового и октилового спирта выжатая из почвы жидкость более богата фосфорной кислотой, чем в отсутствие этих спиртов, т. е. что часть фосфорной кислоты в почве находится в положительно адсорбированном состоянии.

Как указывалось выше, наряду с положительной адсорбцией мелкораздробленными дисперсными фазами растворенных веществ, понижающих поверхностное натяжение воды, теоретически должна существовать и отрицательная адсорбция веществ, влияющих обратно на величину поверхностного натяжения воды, т. е. повышающих его. Но в то время как в коллоидальной химии имеется большой экспериментальный материал, подтверждающий теорию в отношении положительной адсорбции,— для отрицательной адсорбции дело обстоит несколько иначе; почти все исследования этого вида адсорбции дали неопределенные результаты; концентрация растворов веществ второй группы после взаимодействия с порошками оказывалась лишь очень немногим выше, нежели до взаимодействия; разница в большинстве исследований бывала близка к пределам ошибки опыта. Но некоторые из произведенных опытов все-таки с несомненностью указывают на существование отрицательной физической поглотительной способности; вот, например, данные одного из таких исследований.

Навески кровяного угля (от 1 до 15 *г*) взбалтывались со 100 *см*^{3} раствора двухромовокислого калия концентрации 0,025 *м* (0,74%); после этого раствор отфильтровывался и в нем определялась концентрация двухромовокислого калия; во всех случаях констатировалось небольшое повышение концентрации в фильтрате, т. е. понижение концентрации этого вещества в той части раствора, которая была задержана углем. Повышение это отразилось следующими величинами (в процентах от первоначальной концентрации):

При навеске угля, *г*	
1	0,26
2,5	1,52
5	2,21
10	4,56
15	6,51

Затруднительность констатирования отрицательной адсорбции вытекает из самого существа дела: опыты приходится вести со сравнительно низкими концентрациями исследуемых соединений и со сравнительно большими объемами растворов, чтобы можно было отфильтровать доста-

точное для анализа количество фильтрата; если мы даже допустим, что в слое жидкости, непосредственно примыкающем к частицам взятой для опыта дисперсной фазы, концентрация упала до нуля, то и в таком предельном случае освободится лишь очень небольшое количество растворенного вещества, которое повысит очень незначительно концентрацию остальной жидкости, значительно превышающей по объему ту часть, которая окружает тонким слоем частицы. При положительной же адсорбции, где концентрация жидкости, окружающей частицы, может повышаться от первоначальной сравнительно низкой концентрации взятого для опыта раствора до очень высокой, экспериментальное констатирование ее значительно легче.

Если отрицательную адсорбцию трудно установить, применяя в качестве поглотителей мелкораздробленные однородные вещества, то, понятно, еще труднее это сделать для почвы; поэтому ничего нет удивительного, что до сих пор мы почти не имеем данных, констатирующих ее у почвы с достаточной несомненностью.

Очень интересны исследования физического поглощения почвой хлоридов, нитратов и отчасти сульфатов, произведенные А. В. Трофимовым *. Мы выше видели, почему отрицательная адсорбция трудно констатируется и почему имеющиеся данные нельзя считать доказательными по малому их количественному эффекту. Указанный исследователь применил вместо обычного метода взбалтывания поглотителя со сравнительно большими объемами раствора исследуемого вещества метод напитывания почвы этим раствором лишь примерно до полной влагоемкости, после чего почвенный раствор отжимался ручным прессом.

Подробные исследования этим методом изменения концентрации растворов хлоридов кальция и щелочных металлов и азотнокислого кальция в выжатом из почвы растворе по сравнению с первоначальным раствором показали, что хлориды и нитраты в сильной степени отрицательно адсорбируются почвой; эффект адсорбции k, т. е. отношение концентрации выжатого раствора к концентрации исходного раствора, зависит от величины последней: по мере увеличения последней величина k уменьшается. Величина отрицательной адсорбции хлоридов и нитратов у различных почв различна; из исследованных автором 4 почв она оказалась наибольшей у чернозема и наименьшей у подзола. Для иллюстрации привожу из цифрового материала А. В. Трофимова данные по поглощению хлоридов ($CaCl_2$) черноземом и подзолом, а именно исходную концентрацию (C), величину k и процентное повышение (m) концентрации исходного раствора после его выжатия из почвы.

---

* *А. В. Трофимов.* К познанию невыделимой части почвенного раствора. Отрицательная адсорбция почвой электролитов.— Н.-агр. ж., т. II, 1925, № 10, стр. 613.

Он же. О пленочной влаге в почве. I. Методика определения и свойства. II. Динамика форм воды в почве. Там же, т. IV, 1927, № 9, стр. 560.

Ф. Соболев и *С. Драчев.* Влияние обработки и удобрения на динамику почвенного раствора и поглощенных оснований почвы. Там же, т. III., 1926, стр. 96.

Чернозем			Подзол		
C	k	m, %	C	k	m, %
0,00592	1,317	31,7	0,01888	1,504	5,4
0,01031	1,314	31,4	0,04950	0,058	5,8
0,02506	1,276	27,6	0,10430	1,044	4,4
0,05127	1,233	23,3	0,19380	1,048	4,8
0,10360	1,216	21,6	0,51200	1,037	3,7
0,19630	1,181	18,1	1,02900	1,034	3,4
0,26000	1,168	16,8	—	—	—
0,53800	1,164	16,4	—	—	—
1,04600	1,135	13,5	—	—	—
4,35200	1,081	8,1	—	—	—

Исследования поглощения сульфатов носили лишь ориентировочный характер и показали, что и они поглощаются почвой отрицательно, но в значительно меньшей степени, чем хлориды и нитраты. Размеры неоднородности почвенного раствора, происходящей вследствие отрицательной адсорбции, Трофимов выражает «объемом водяной пленки, не содержащей солей». Очевидно, этот объем находится в зависимости от концентрации данной соли и увеличивается с ее уменьшением; для хлоридов и нитратов величина этого объема одного и того же порядка. Н. В. Лобанов (см. сноску на стр. 411) своим методом также констатирует отрицательную адсорбцию нитратов.

Мы пытались уловить физическое поглощение, поставив почву в возможно более благоприятные условия для проявления поверхностной энергии; опыт состоял в следующем. Почва с большим содержанием поглощающего комплекса и очень бедная органическими веществами многократно обрабатывалась в цилиндрах концентрированными растворами сернокислого или хлористого натрия и таким образом полностью насыщалась натрием, а затем в тех же цилиндрах декантацией промывалась от сульфатов и хлоридов дистиллированной водой до тех пор, пока почва перестала отстаиваться. Такая обработка, как известно, разрушает почвенные микроструктурные элементы, распыляет их, благодаря чему повышается коллоидальность почвы, а следовательно, и поверхностная энергия. При указанной обработке цилиндров последним сливанием жидкости из них сернокислый натрий и хлористый натрий не были еще полностью удалены из почвы.

Цилиндры тогда были оставлены в покое и приблизительно через год подвергнуты исследованию.

В это время 10 *г* первоначально взятой почвы занимали в цилиндрах объем до 80 *см*^{3} (то же количество первоначальной почвы, насыщавшейся натрием, занимало объем всего около 8 *см*^{3}), почва представ-

ляла студень, содержащий до 800% прочно связанной воды. Над почвой стоял столб совершенно прозрачной воды объемом около 50 *см*³. Если почва способна положительно или отрицательно адсорбировать сернокислый или хлористый натрий, то в том состоянии, в каком она находилась в наших цилиндрах, явление это должно было особенно сильно проявиться. Однако анализ свободной воды и воды, связанной почвой, показал совершенно одинаковую концентрацию и хлора, и серной кислоты, и в воде над почвой, и в воде, находившейся в почве.

Конечно, отрицательный результат вышеприведенного опыта не дает права говорить об отсутствии в данном случае физической адсорбции; его можно толковать таким образом, что и при созданных в данной почве очень благоприятных условиях для адсорбции количество вещества, адсорбированного (положительно или отрицательно) поверхностью почвы, оказалось недостаточным, чтобы изменить концентрацию этого вещества в жидкости над почвой настолько, чтобы это можно было бы констатировать обычным химическим анализом.

Несмотря, однако, на очень скудное количество экспериментальных доказательств способности почвы к положительной и отрицательной адсорбции, теоретические соображения заставляют нас признать, что таковою почва обладает, но количественно она проявляется в общем малыми величинами, которые при методах, обычно применявшихся для их определения (методы взбалтывания, промывания и т. п.), мало доступны нашим измерениям. В почве же в ее естественном состоянии, при естественной ее влажности (начиная от воздушно-сухого ее состояния и до состояния полной влагоемкости), когда количество воды значительно меньше по отношению к весу почвы, нежели то, которое приходится брать при исследовании, физическое поглощение должно достигать значительно бóльших величин, как это и показывают цитированные выше исследования Трофимова. Таково состояние вопроса о физическом поглощении почвенных молекул электролитов из раствора.

Между веществами, физически поглощаемыми почвой, имеется группа соединений, положительная адсорбция которых почвой происходит столь энергично, что может легко констатироваться опытным путем. Я имею в виду поглощение почвой гидратов окиси щелочных и щелочноземельных металлов.

Вообще кроме физического поглощения целых молекул дисперсная фаза может физически поглощать из соли кислоту или щелочь. Мы сначала остановимся на результатах, полученных E. Miller * при изучении им адсорбции активированным углем.

Работая с активированным углем, лишенным зольных элементов, а потому неспособным к обменному поглощению (см. ниже, физико-химическую поглотительную способность), Miller нашел, что такой уголь об-

---

* *E. J. Miller*. Adsorption by activated sugar charcoal. I. Proc. of Hydrolytic Adsorption.— Journ. of Am. Chem. Soc., v. 46, 1924, N 5, p. 1150. II. Adsorbability of hydrogen and hydroxylions. Loc. cit. v. 47, 1925, N 5, p. 1270.

ладает способностью гидролитически расщеплять соли щелочных металлов и в том числе нейтральные (хлористый калий и натрий), поглощая освобождающуюся кислоту; в растворе взятой соли накопляется при этом щелочь и раствор становится щелочным. Адсорбированную углем кислоту можно сравнительно легко вымыть водой; поэтому в этом случае мы имеем дело, несомненно, не с химической и не с физико-химической, а именно с физической адсорбцией.

Количественное определение щелочи, освободившейся из раствора соли после воздействия на уголь, и поглощенной углем кислоты показало, что эти величины равны между собой. Miller назвал этот вид адсорбции гидролитической адсорбцией.

Для иллюстрации этого явления мы приведем в нижеследующей таблице результаты одного исследования Miller'a, в котором он взбалтывал навески угля в 13,5—18 *г* с 200 *см*³ раствора различных калийных солей приблизительно 0,02 н. концентрации.

Гидролитическая адсорбция активированным углем солей калия

Калий	Концентрация калия, н.		Увеличение (+) или уменьшение (—) концентрации калия, н.	Содержание KOH в растворе после адсорбции, *ммол*
	до адсорбции	после адсорбции		
Сернокислый	0,019914	0,020512	0,000568+	0,3452
Азотнокислый	0,019520	0,020168	0,000648+	0,6560
Хлористый	0,020024	0,020698	0,000672+	0,3846
Щавелевокислый	0,020200	0,021072	0,000872+	0,3708
Лимоннокислый	0,019680	0,019768	0,000088+	—
Бензойнокислый	0,019632	0,009768	0,009864—	1,5860
Салициловокислый	0,019608	0,008568	0,011040—	1,5240

Из этой таблицы вытекают следующие выводы:

1) уголь из растворов первых пяти солей не адсорбировал целых молекул солей, так как данные таблицы показывают, что концентрация калия после воздействия раствора на уголь не только не понизилась, но даже возросла;

2) в растворах всех исследовавшихся солей после их воздействия на уголь обнаружен свободный едкий калий; исследование угля после адсорбции показало, что он поглотил из растворов солей соответствующие кислоты в количествах, эквивалентных обнаруженным количествам едкого калия; таким образом, во всех исследовавшихся случаях имела место гидролитическая адсорбция углем солей калия;

3) в описываемых опытах при гидролитической адсорбции происходила положительная адсорбция освобождающейся кислоты;

4) вместе с тем, в растворе первых пяти солей таблицы после их взаимодействия с углем констатировано повышение концентрации калия, что указывает на отрицательную адсорбцию едкой щелочи:

уголь поглощает при взаимодействии некоторое количество оставшейся воды и щелочь концентрируется в меньшем количестве воды;

5) сильное понижение концентрации калия в растворах бензойнокислого и салициловокислого калия после их воздействия на уголь показывает, что эти соли адсорбируются углем и молекулярно, и гидролитически.

Опыты Miller'а с действием на уголь растворами едких щелочей показали, что щелочи эти в чистых растворах также не адсорбируются положительно, а наоборот, в этом случае имеет место отрицательная адсорбция их, подобно тому, как из солей щелочных металлов при гидролитической адсорбции.

При воздействии на 18 *г* угля растворами едкого калия 0,01 и 0,005 н. Miller получил следующие данные.

Концентрация KOH, н.		Количество KOH во взятом объеме воздействовавшей жидкости, *ммол*	
до адсорбции	после адсорбции	до адсорбции	после адсорбции
0,010104	0,010496	1,0104	1,0114
0,005013	0,005208	0,5013	0,5013
0,005013	0,005208	0,5013	0,5009

Общее количество едкого калия во взятом растворе после его воздействия на уголь не изменилось (3-й и 4-й столбцы таблицы), концентрация же его в жидкости над углем повысилась; ясно, что уголь отрицательно адсорбировал едкий калий, что он поглощал некоторое количество воды, а весь едкий калий концентрировался в меньшем объеме воды.

Зависимость отрицательной адсорбции углем едкого калия от концентрации раствора едкого калия, воздействовавшего на уголь, видна из нижеследующих данных Miller'а.

Влияние концентрации на отрицательную адсорбцию едкого калия

Концентрация раствора, н.		Повышение концентрации, н.	Отрицательно поглотилось, *ммол/г*
до воздействия на уголь	после воздействия на уголь		
0,005012	0,005215	0,000203	0,00113
0,010104	0,010486	0,000382	0,00212
0,020190	0,020725	0,000535	0,00297
0,039890	0,040823	0,000933	0,00518
0,099500	0,101140	0,001540	0,00855

Таблица показывает, что с возрастанием концентрации раствора щелочи, воздействующей на уголь, возрастает и отрицательная адсорбция, но не пропорционально, а медленнее.

Почва, так же как и уголь, обладает гидролитической адсорбцией, т. е. способностью физически поглощать один из продуктов гидролитической диссоциации солей; но, в отличие от угля, в опытах Miller'а она неспособна, по-видимому, сама вызывать гидролитической диссоциации нейтральных солей (например, NaCl и KCl), но, поглощая один из продуктов гидролитической диссоциации гидролизирующих самих по себе солей, почва усиливает гидролиз их. Возможно, конечно, что и в растворах нейтральных солей почва оказывает подобное же действие, но количественно этот процесс протекает настолько слабо, что его не удается экспериментально уловить. Другое отличие почвы от угля, применявшегося Miller'ом, состоит в том, что почва *адсорбирует положительно из продуктов гидролиза не кислоту, а щелочь.*

Имеющимися исследованиями установлено, что почва физически поглощает (положительная адсорбция) гидраты окисей металлов из солей сильных оснований и слабых кислот (углесолей натрия, калия, кальция, уксуснокислого натрия и щавелевокислого натрия) и из чистых растворов этих гидратов окисей; происходит ли при этом отрицательная адсорбция освобождающейся при гидролизе кислоты, подобно тому, как в опытах Miller'а отрицательно поглощалась щелочь, неизвестно. Вообще гидролитическая адсорбция почвою еще мало изучена. К этому вопросу мы еще вернемся при изложении обменной поглотительной способности почвы.

Отрицательная адсорбция анионов почвенными коллоидами в том случае, когда на коллоид действует соль с тем же катионом, какой имеется в коллоиде в обменном состоянии, доказана S. Mattson'ом экспериментально и теоретически из теории равновесия Donnan'а.

В опытах S. Mattson'а * с коллоидальной частью, выделенной из почвы Sharkey и насыщенной различными катионами, исследовалась адсорбция анионов Cl и SO_4, для чего навески по 5 *г* коллоида, насыщенного в отдельности Na, K, Ca и Ba, обрабатывались 50 *см*^{3} растворов соответствующих солей; через три дня в отстоявшейся жидкости определялись концентрация Cl и SO_4 и скорость переноса коллоидальных частиц (электрическая миграция в микронах в секунду на 1 *в/см*); во всех случаях при нейтральной и щелочной реакциях была обнаружена отрицательная адсорбция и Cl и SO_4.

Вот данные для хлора.

---

* *S. Mattson.* Anionic and cationic adsorption by soil colloidal materials of varying SiO_2: (Al_2O_3 + Fe_2O_3) ratio.— Proc. First Inter. Cong. Soil Sci., v. II, 1928, p. 208.

Коллоид	Концентрация хлора, н.		Разность	Электрическая миграция
	до воздействия	после воздействия		
Na	0,2002	0,2095	0,0093	—3,1
K	0,2004	0,2058	0,0054	—1,7
Ca	0,1979	0,2010	0,0031	—0,6
Ba	0,1998	0,2020	0,0022	—0,4

Если перечислить эти данные на 100 *г* коллоида, то получим, что из внесенных в почву с раствором 7 *г* хлора 100 *г* почвы отрицательно адсорбировало, в зависимости от насыщающего коллоид катиона, от 0,0322 до 0,076 *г* Cl. Как мы увидим ниже, почвенные коллоиды, насыщенные различными катионами, по величине отрицательной адсорбции расположились в том же порядке, как и по величине набухания и распыления.

Далее Mattson * определил адсорбцию (наряду с другими величинами) бентонитом, насыщенным почти целиком натрием, анионов Cl, NO_3, SO_4, $Fe(CN)_6$ из их натриевых солей; было найдено, что все эти анионы адсорбируются отрицательно, причем по величине этой адсорбции они располагаются в следующий ряд: $Cl = NO_3 < SO_4 < Fe(CN)_6$, т. е. чем выше значность аниона, тем сильнее его отрицательная адсорбция.

Таким образом, если мы взболтаем почву с раствором какого-либо вещества, то, смотря по природе этого вещества, произойдет, кроме других возможных реакций, положительное или отрицательное физическое поглощение его или части его в слое жидкости, окружающей частицы почвы; при положительном поглощении концентрация вещества в этом слое будет выше, нежели в жидкости, более удаленной от поверхности частичек почвы; при отрицательном поглощении будем иметь обратное. Величина положительной и отрицательной адсорбции будет зависеть от природы растворенного вещества, от его концентрации во взятом растворе и от механического состава почвы; чем больше степень дисперсности почвы, тем резче будет явление поглощения, тем сильнее будет неоднородность жидкости в почве в отношении концентрации растворенного в ней вещества.

Если взять раствор не одного, а нескольких веществ, и притом принадлежащих к различным группам по влиянию на величину поверхностного натяжения, и привести его в соприкосновение с почвой, а затем отфильтровать, то жидкость, задержанная почвою, будет в отношении концентрации взятых веществ в различных своих частях очень неоднородной и различно неоднородной в отношении каждого из взятых ве-

* *S. Mattson.* The laws of soil colloidal behaviour.— Soil Sci., v. 28, 1929, N 3, p. 180 a. 192.

ществ; будут попадаться области с повышенной концентрацией одних веществ, в различной степени для каждого из них (в зависимости от их свойств и от величины соседних почвенных частиц), и с пониженной концентрацией других веществ; если почва достаточно мелкозерниста, то можно сказать, что в каждой точке состав ее жидкости в отношении концентрации растворенных в этой жидкости веществ будет различен.

То, что было сказано в отношении растворов, искусственно приведенных в соприкосновение с почвенными частичками, очевидно, в полной мере приложимо и к естественно находящемуся в почве почвенному раствору. Качественный состав почвенного раствора очень сложен; в нем растворены самые разнообразные минеральные и органические соединения; среди этих веществ встречаются и такие, которые понижают поверхностное натяжение (т. е. поглощаются положительно) и притом в разной степени, и такие, которые повышают его, и также в различной степени. Из всего вышеизложенного вполне очевидно, что почвенный раствор вследствие физической поглотительной способности почвы представляет собой жидкую фазу, пространственно чрезвычайно неоднородную в отношении концентрации.

Так как физическая адсорбция находится в зависимости от концентрации веществ, растворенных в почвенном растворе, а последняя изменяется во времени в зависимости от метеорологических и других условий, то физическое поглощение почвою представляет и с качественной, и с количественной стороны динамический процесс, ход которого, несомненно, различен в почвах разного происхождения и залегающих в различных условиях местоположения.

Физическая поглотительная способность играет громадную роль в почвенных процессах: благодаря положительной адсорбции та или другая часть растворенных в почвенной влаге веществ, бóльшая или меньшая — в зависимости от степени дисперсности почвенных частиц, находится в почве как бы в связанном состоянии, оставаясь в то же время в растворе; вследствие этого вещества этого рода значительно медленнее вымываются из почвенных слоев вниз, чем это имело бы место в отсутствие положительной адсорбции. Таким образом, положительная физическая поглотительная способность почвы защищает почву от выноса легкорастворимых соединений. Отрицательная физическая поглотительная способность играет обратную роль.

Физическая поглотительная способность почвы имеет также большое значение в вопросах плодородия почвы, во-первых, вследствие указанного влияния ее на вымываемость питательных веществ, а во-вторых вследствие создания ею в почвенном растворе областей различной концентрации; последнее обстоятельство позволяет усваивающим корневым волоскам приспособляться к данной почве; согласно со своим отношением к концентрации они могут выбрать среди этого разнообразия концентрации ту область раствора, в которой концентрация наиболее подходит к их требованиям.

Главная масса веществ, растворенных в почвенном растворе, состоит из солей слабых кислот и сильных оснований, в отношении которых, как мы видели, имеет место гидролитическая адсорбция с освобождением кислоты; таким образом, физическая адсорбция является одним из факторов, обусловливающих величину концентрации водородных ионов в почвенном растворе, играющую столь важную роль в процессах почвообразования и в жизни микроорганизмов и высших растений.

В указанных явлениях поглощения принимают участие не только минеральные почвенные частички, но и частички мертвого органического вещества почвы; далее, так как явление физического поглощения есть результат раздробленности, известной выраженности поверхности, то само собой понятно, что в них принимают участие и микроорганизмы почвы, и мелкие корневые волоски растений; те и другие также являются центрами повышения или понижения концентрации окружающего их почвенного раствора.

В. ФИЗИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ С УМЕНЬШЕНИЕМ ОБЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ

В вышеизложенном физическое поглощение в почве проявлялось в том, что в слое почвенного раствора, примыкающем непосредственно к почвенным частичкам, растворенные вещества оказывались положительно или отрицательно адсорбированными, благодаря чему поверхностное натяжение, а вместе с тем и свободная поверхностная энергия системы понижались. В почвах могут происходить явления того же характера физического поглощения, сопровождающиеся уменьшением поверхностной энергии, но не вследствие уменьшения величины поверхностного натяжения, а вследствие понижения величины второго фактора поверхностной энергии, а именно — величины поверхности. Это уменьшение общей поверхности достигается свертыванием почвенных частиц коллоидальных размеров в более крупные агрегаты. Явление это также должно быть отнесено к области поглощения, так как и оно ведет к задерживанию почвой тех веществ, которые в противном случае могли бы быть вследствие мелкой раздробленности своей вынесены из почвы вниз.

Указанное физическое поглощение свертыванием (коагуляцией) является результатом или действия электролитов почвенного раствора на почвенные коллоидальные частицы, или взаимодействием почвенных коллоидальных частиц между собою.

1. Свертывающее действие электролитов. Все соли, кислоты и щелочи обладают способностью вызывать коагуляцию коллоидально распыленных веществ; для этого необходимо только, чтобы концентрация данного электролита была выше некоторой величины, называемой *электролитическим порогом*. Величина электролитического порога находится в зависимости: 1) от рода коллоидального вещества, 2) от степени дисперсности его, 3) от рода электролита и 4) от рода обменных ионов, находящихся в исследуемом коллоиде. Взаимодействие сверты-

вающего электролита с этими ионами (обменные реакции, см. ниже, гл. IV) ставит процесс коагуляции в известную зависимость от явлений физико-химической поглотительной способности, но мы этот процесс изложим здесь, так как в результате его мы имеем агрегаты бывших раньше отдельными коллоидальных частиц, связанных теперь физически между собой.

В почвах мы имеем дело с двумя группами коллоидов: с коллоидами неорганическими (коллоидально распыленные алюмосиликаты, коллоидальные гидроокиси железа и алюминия и коллоидальная кремнекислота) и с коллоидами органическими (коллоидально распыленные перегнойные вещества почвы, микробы). Первые более чувствительны к электролитам (т. е. электролитический порог для них ниже), нежели вторые. В общей своей массе почвенные коллоидально распыленные вещества принадлежат к так называемым отрицательным коллоидам, т. е. они заряжены отрицательным электричеством; хотя необходимо иметь в виду, что между почвенными коллоидами могут быть и положительно заряженные и что вообще знак заряда коллоидов находится в тесной зависимости от реакции дисперсионной среды: отрицательный коллоид в щелочной или нейтральной среде может оказаться положительно заряженным в кислой среде, и наоборот, положительный коллоид в кислой или нейтральной среде может приобрести отрицательный заряд в щелочной среде; при этом для различных коллоидальных веществ, отрицательно заряженных в щелочной или нейтральной среде, та степень кислотности среды, которая необходима для придания этим коллоидам положительного заряда, вообще неодинакова; то же и в отношении степени щелочности для коллоидов положительных в нейтральной или кислой среде. Поэтому в почвах как со щелочным, так и с кислым почвенным раствором могут быть и положительные и отрицательные коллоиды.

Свертывающее действие оказывает один из ионов электролита, а именно:

1) в отношении положительно заряженных коллоидов коагулирующим ионом является отрицательно заряженный ион — анион электролита;

2) в отношении отрицательно заряженных коллоидов коагулирующим ионом является положительно заряженный ион — катион электролита.

Как мы указывали выше, в общем можно считать, что главная масса почвенных коллоидально распыленных частиц несет отрицательный заряд; поэтому в общем коагулятором почвенных коллоидов будут катионы электролитов. Такое действие катионов на отрицательные коллоиды объясняется таким образом. Коллоидальный раствор представляет собой вообще систему мало устойчивую: коллоидальные частички обладают молекулярным притяжением друг к другу; находясь в непрерывном броуновском движении, они сталкиваются между собою и прилипают друг к другу; и если, несмотря на такое стремление коллоидальных частичек образовывать агрегаты, коллоидальные растворы все-таки существу-

ют и сохраняют свое состояние при благоприятных условиях, то этим коллоидальные системы обязаны электрическому заряду их дисперсной фазы; коллоидальные частички, неся одноименный заряд, при встречах отталкиваются. Ясно поэтому, что электрический заряд является фактором, стабилизирующим коллоидально распыленное состояние вещества, поддерживающим это состояние *.

Отсюда следует, что всякий фактор, который при воздействии на коллоидальную систему будет понижать или уничтожать заряд коллоидальных частичек, будет вместе с тем инстабилизирующим фактором, будет понижать устойчивость коллоидальной системы и вызывать ее коагуляцию. Катионы солей, как несущие положительный электрический заряд, при действии на отрицательно заряженные коллоиды, должны уменьшать их отрицательный заряд **, т. е. именно уменьшать устойчивость такой коллоидальной системы, способствовать ее коагуляции.

Понятно, что анион соли в этом случае, как несущий отрицательный заряд, должен действовать обратно, т. е. повышать устойчивость коллоидальной системы; таким образом, в отношении отрицательных коллоидов анионы в противоположность катионам, представляют собой стабилизирующий фактор; но действие этого фактора на отрицательные коллоиды значительно слабее, нежели противоположное действие катионов; поэтому в общем результате действия солей на отрицательные коллоиды мы и имеем свертывание этих коллоидов. Стабилизирующее действие анионов на отрицательные коллоиды находится в зависимости от значности аниона: чем выше значность, тем сильнее это действие ***.

Таким образом, свертывающее действие всякого электролита на отрицательные коллоиды складывается из положительного действия катиона и более слабого отрицательного действия аниона, поэтому соли одного и того же катиона, но различных анионов, обладают неодинаковым электролитическим порогом ****.

---

* По новым воззрениям, устойчивость гидрофильных золей зависит не только от заряда частичек, но и от степени их гидратации. Оба эти фактора защищают золь от свертывания, и для того, чтобы произошла коагуляция, оба они должны достигнуть известного минимума; если же соответствующего минимума достигнет только один из них (заряд или степень гидратации), то свертывания все-таки не будет.

** Коагуляция коллоидов при прибавлении к ним электролита начинается еще до полной нейтрализации их заряда: тот потенциал, который получается при этом в начале коагуляции, носит название первого критического потенциала, а сама коагуляция — медленной коагуляции, дальнейшее прибавление электролита вызывает дальнейшее понижение заряда, и при некоторой величине последнего начинается быстрая коагуляция, соответствующий потенциал называется вторым критическим потенциалом.

*** По исследованию *Mattson'a* (Soil Sci., v. 28, 1929, № 5, p. 373) стабилизирующее действие на бентонит (отрицательный коллоид) аниона $Fe(CN)_6$ больше, чем аниона SO_4, а последнего больше, чем аниона Cl.

**** Более слабое стабилизирующее действие иона, заряженного одноименно с коллоидальными частичками, нежели свертывающее действие противоположно за-

При положительно заряженных коллоидальных системах мы будем иметь как раз обратное только что изложенным соотношениям.

Осаждающая способность различных катионов (или электролитический порог их) в отношении почвенных коллоидов неодинакова;

она есть функция двух величин, а именно зависит от значности катиона и его атомного веса; чем выше значность и чем выше атомный вес, тем меньше та предельная величина концентрации электролита, ниже которой электролит уже не вызывает коагуляции, т. е. тем меньше электролитический порог и тем выше осаждающая способность.

Катионы однозначных металлов свертывают слабее двузначных, а катионы двузначных — слабее трехзначных; исключение представляет водородный ион, осаждающая способность которого выше таковой остальных однозначных металлов; этот однозначный и самый легкий катион приближается по коагулирующей силе своей к двузначным катионам.

Для пояснения вышеизложенного приведем из наших опытов величину электролитического порога (пределы концентрации электролита, выраженной в нормальностях, между которыми лежит электролитический порог) для различных хлоридов в отношении глинистой суспензии, величина частиц которой заключалась в пределах 0,0005—0,0 *мм*.

Хлористый литий, Li	0,0250—0,0125	Хлористый магний, Mg	0,0012—0,0005
» аммоний, NH_4	0,0250—0,0125	» кальций, Ca	0,0012—0,0005
» натрий, Na	0,0150—0,0125	» стронций, Sr	0,0012—0,0005
» калий, K	0,0250—0,0125	Соляная кислота, H	0,0010—0,0005
» рубидий, Rb	0,0125—0,0050	Хлорное железо, Fe	<0,000125
Азотнокислое серебро, Ag	0,0050—0,0025	Хлористый алюминий, Al	<0,000125

При этом на основании хода коагуляции и дополнительных более дробных исследований мы выяснили, что по силе осаждающего действия означенные катионы располагаются в том порядке, как они приведены в этой таблице. Более поздние исследования Gallay *, произведенные более совершенными методами, подтвердили наш вывод; по его данным, исследованные им катионы по возрастанию свертывающей силы располагаются в следующий ряд:

Li, Na, NH_4, K, Rb, Ce, Mg, Ca, Ba**.

ряженного иона, объясняется следующим образом. Ионы, противоположно заряженные, притягиваются коллоидальными частичками, а одноименно заряженные — отталкиваются. Первые поэтому располагаются в слое жидкости у поверхности коллоидальных частиц, а вторые в более удаленном слое.

* *B. Gallay*. Contribution á l'étude de la coagulation de l'argile. Lausanne, 1924, а также Kolloid-Bein., Bd. XXI, 1925, H. 7—2.

** Разногласие получалось только в отношении места аммония в этом ряду; должен отметить, что мои опыты с осаждением других почвенных суспензий давали мне для этого катиона непостоянные результаты: то он действовал слабее натрия, то сильнее его и даже калия; возможно, что это непостоянство вызывалось различной величиной pH бравшихся растворов хлористого аммония.

В почвенном растворе имеются почти исключительно только соли аммония, натрия, калия, магния и кальция, а в кислых почвах может присутствовать водородный ион; железо и алюминий почвенных растворов, по всей вероятности, в большинстве случаев находятся в соединениях коллоидального состояния. Таким образом, в почвах незасоленных, в почвенных растворах которых количественно преобладает катион кальция, главная роль коагулятора коллоидально распыленных почвенных частиц принадлежит этому катиону; содержание его в почвенном растворе является главным фактором, обусловливающим способность почвы задерживать, физически поглощать циркулирующие через почву коллоидально распыленные органические и минеральные вещества; чем богаче почвенный раствор катионом кальция (почвы, содержащие углесоли щелочноземельных металлов), тем выше у почвы эта способность.

Что касается засоленных почв, то здесь коагуляторами могут являться и другие катионы; в натриевых солончаках первая роль будет принадлежать натрию, в солончаках кальциевых — кальцию, а в смешанных — либо кальцию, либо натрию, в зависимости от количественного состава солей этих двух катионов. Так как в засоленных почвах часто содержатся растворимые соли магния, то в таких почвах этот катион тоже играет существенную роль в свертывающем действии почвенного раствора.

Влияние водородного иона на свертывание почвенных коллоидальных частиц металлическими катионами. Как видно из приведенной выше таблички, водородный ион обладает более высокой свертывающей способностью, нежели двузначные и остальные однозначные катионы. Но мало того, осаждающая способность катионов (речь все время идет о свертывании отрицательных коллоидов) очень сильно повышается в присутствии самых ничтожных количеств водородного иона; этот катион в количествах, совершенно недостаточных для самостоятельного свертывания коллоидально распыленных почвенных частиц, может очень значительно понизить электролитический порог любого электролита, причем в такой степени, что общее их действие будет заметно превышать сумму действия каждого в отдельности.

Так например, электролитический порог хлористого кальция и серной кислоты в отношении бывшей в опыте глинистой суспензии заключался в одних и тех же пределах — между 0,00125—0,0005 н., а при совместном действии этих двух электролитов почти полное осаждение получалось еще в том случае, когда концентрация хлористого кальция была 0,0005 н. (хлористый кальций в этой концентрации вовсе не осаждал суспензии), а концентрация серной кислоты — 0,000075 н. Общая сумма концентраций обоих электролитов была в этом случае 0,000575 н.; при такой концентрации одна серная кислота или один хлористый кальций вызывали лишь едва заметное свертывание; даже при двойной концентрации (0,00115 н.) каждый из этих электролитов свертывал значительно слабее, нежели оба вместе, с суммарной концентрацией в 0,000575 н.

Таким образом, способность почв задерживать благодаря свертыванию электролитами коллоидально распыленные частицы, не давать им передвигаться вместе с циркулирующими в почве растворами, в значительной степени повышается присутствием в почвенном растворе кислот и кислых солей: поэтому действие наиболее существенного коагулятора незасоленных почв — катиона кальция — в почвах подзолистой зоны и особенно в почвах, содержащих углекислый кальций и богатых свободной углекислотой, может играть очень видную роль в поглотительной способности почвы.

В почвах засоленных поглощение вследствие свертывания коллоидов должно проявляться еще в большей степени, нежели в почвах незасоленных; чем сильнее почва засолена, тем резче будет выражена ее способность задерживать коллоидально распыленные частицы.

Влияние гидроксильного иона на свертывание почвенных коллоидальных частиц металлическими катионами. По своему действию на коллоидальные растворы гидроксильный и водородный ионы выделяются среди всех остальных ионов: они, с одной стороны, обладают более высокой свертывающей силой в отношении к противоположно заряженным коллоидам (т. е. гидроксильный ион — в отношении положительных коллоидов, а водородный ион — в отношении отрицательных коллоидов), а, с другой стороны, они более энергично препятствуют электролитам свертывать одноименно заряженные коллоиды (т. е. гидроксильный ион энергичнее других анионов препятствует катионам свертывать отрицательные коллоиды, а водородный ион энергичнее, нежели остальные катионы, препятствует анионам свертывать положительно заряженные коллоиды).

Таким образом, в отношении почвенных коллоидальных частиц, поскольку они несут отрицательный заряд, гидроксильный ион влияет на осаждающую силу электролитов противоположно водородному иону.

Водородный ион, как мы видели, способствует коагуляции почвенных коллоидов; он является в отношении устойчивости коллоидального раствора фактором и н с т а б и л и з и р у ю щ и м, понижающим эту устойчивость, способствующим свертыванию отдельных коллоидально распыленных частиц в агрегаты их. Гидроксильный же ион (OH) является с т а б и л и з а т о р о м отрицательно заряженных коллоидальных частиц; он повышает устойчивость отрицательно заряженных коллоидальных систем, а в том числе и почвенных коллоидов, и очень сильно понижает осаждающую способность электролитов. Опыты показывают, что в присутствии некоторых соединений, имеющих гидроксильный ион (едких щелочей, нормальных карбонатов щелочных металлов), при достаточно низких их концентрациях осаждающая способность нейтральных электролитов не повышается, как этого можно было ожидать по увеличению общей концентрации электролитов в растворе, а в значительной степени понижается; так например в одном опыте хлористый натрий при концентрации 0,015 н. вызывал почти полное осаждение суспензии, в присутствии же Na_2CO_3 в концентрации 0,0125 н. и ниже (до 0,00005 н.)

осаждения вовсе не происходило; таким образом, уже самые ничтожные следы гидроксильного иона значительно понижают свертывающее действие электролита; выше некоторой концентрации и сода и едкий натр, конечно, уже не понижают действия электролита, а увеличивая общую концентрацию катионов в растворе, повышают это действие.

Таким образом, в почвах со щелочною реакцией поглотительная способность, обусловливаемая действием электролитов почвенного раствора на коллоидально распыленные почвенные частички, может быть сильно пониженной; но такое действие щелочности проявляется только тогда, когда щелочность эта вызывается едкими щелочами калия и натрия или их нормальными карбонатами, дающими вследствие гидролитической диссоциации едкую щелочь; одним словом, тогда, когда гидроксильному иону OH противополагается катион калия или натрия; но никогда явление это не наблюдается тогда, когда щелочность обусловливается присутствием гидрата окиси кальция (результат гидролиза углекислого кальция), т. е. когда иону OH противополагается катион кальция.

Дело тут в том, что стабилизирующее действие гидроксильного иона превосходит противоположное, инстабилизирующее действие однозначного катиона натрия, но уступает по своей величине инстабилизирующему действию двузначного катиона кальция. Этим обусловливается то существенное различие в структурных особенностях и связанных с ними физических свойствах, которое наблюдается между почвами, щелочная реакция которых является следствием присутствия углекислого кальция * (например, почвы черноземного типа), и почвами солонцеватого типа, где щелочность является результатом присутствия в почве соды: в первых почвах коллоидально раздробленная часть почвы находится в свернутом состоянии в виде значительно более крупных агрегатов, отличающихся известной прочностью и не распыляющихся в воде; в почвах же солонцеватого типа, поглощающий комплекс которых содержит поглощенный натрий, а как следствие этого — в почвенном растворе таких почв всегда имеется по крайней мере небольшое количество соды, а значит, и гидроксильный ион, частицы коллоидальных размеров находятся в распыленном, несвернутом состоянии; если сухую почву такого характера привести в соприкосновение с водою, то ее комки быстро распылятся и дадут большое количество частиц коллоидального размера. Так например, в одной почве Кубанской области не солонцеватого типа с кальцием и сравнительно небольшим количеством магния в поглощающем комплексе найдено около 1% частиц, не оседающих в течение 21 дня в слое жидкости высотою в 10 *см*; размеры этих частиц коллоидального порядка. Эта же почва после того, как весь ее поглощен-

---

* Для того чтобы проявились все следствия, вытекающие из щелочности от углекислого кальция, вовсе нет необходимости присутствия его в почве в заметном количестве; совершенно достаточно тех количеств, которые постоянно присутствуют в почвенном растворе таких почв, где поглощающий комплекс содержит из оснований только поглощенные щелочноземельные металлы.

ный кальций (и магний) искусственно были замещены на натрий, дала таких частиц 45%.

Явления, связанные с коагулированием почвенных коллоидально распыленных частичек, особенно сильно проявляются в чистых солончаках благодаря присутствию в них больших количеств водорастворимых электролитов и отсутствию соды; при таких условиях существование не только свободных, отдельных коллоидальных частичек, но и механических фракций значительно более крупных становится невозможным. Как раз противоположные условия имеются в чистых солонцах; в этих почвах при достаточном их увлажнении все почвенные механические элементы, а в том числе и элементы коллоидной фракции, находятся в раздельном состоянии; в сухом же состоянии почвенные частицы склеиваются коллоидами в крупные структурные агрегаты; это потому, что, с одной стороны, в чистых солонцах почти нет легко растворимых солей, т. е. мало коагуляторов, а, с другой сторопы, в почвенном растворе этих почв всегда содержится большее или меньшее количество гидроксильного иона с соответствующим количеством катиона натрия, т. е. почвенные растворы этих почв содержат стабилизатор коллоидальных растворов. Солонцы, таким образом, принадлежат к почвенным образованиям, лишенным способности коагулировать содержащиеся в них коллоидально распыленные вещества.

Среднее место между чистыми солонцами и чистыми солончаками занимают в рассматриваемом здесь отношении солончаки-солонцы, т. е. почвы, которые содержат легко растворимые соли, но в количествах, недостаточных для того, чтобы полностью воспрепятствовать образованию соды из поглощенного натрия; поэтому в этих почвах имеются и инстабилизаторы, и стабилизаторы коллоидальных растворов, и коагулирующая способность таких почв будет зависеть от соотношения между количествами тех и других; но во всяком случае она будет больше, чем у чистых солонцов, и меньше, чем у чистых солончаков.

Таким образом, в почвах солонцеватого типа имеются условия, вследствие которых поглощение коллоидально распыленных веществ почвою здесь выражено очень слабо; вещества эти вымываются из почвенных горизонтов сравнительно легко; для свертывания их и задерживания необходимо значительно более высокое содержание электролитов в почвенном растворе, нежели в почвах черноземного и подзолистого типов. Особенно энергично в почвах солонцеватых идет вымывание органической коллоидально распыленной части (гумусной части почвы), так как, по-видимому, некоторое количество ее представляет определенное химическое соединение с натрием, легко в воде растворимое и потому, конечно, свободно циркулирующее вместе с водами через почвенные поры; другая же часть этого органического коллоидального комплекса, хотя и находится в коллоидально распыленном состоянии, но это распыление настолько мелкое, что частички органического вещества не могут механически задерживаться почвой. Минеральная же часть поглощающего комплекса, хотя также находится в солонцах в мокром их состоянии в виде

отдельных, не свернутых частичек, не может так свободно фильтроваться вместе с водами через почвенные слои, по-видимому, вследствие недостаточной мелкости ее частиц; эта часть коллоидальной фракции солонцов легко механически задерживается почвой; удаление ее из места ее существования происходит тогда, когда она под влиянием воды *распадается* на составляющие ее окислы, т. е. на гидраты окиси железа и алюминия и на кремнекислоту.

Таким образом, процесс воздействия воды на солонцовые почвы (деградация, рассолонцевание или осолодение солонцов) сопровождается вследствие отсутствия в этих почвах инстабилизирующих факторов и присутствия факторов, стабилизирующих распыленность коллоидальной части почвы, постепенным обеднением почвы коллоидальными органическими веществами; обеднение же коллоидальной минеральной частью в этих почвах проявляется так же резко, когда в солонце под влиянием воды идет распад алюмосиликатного ядра этой части, т. е. когда солонец не содержит углекислого кальция (бескарбонатные солонцы); в тех же солонцах, которые содержат углекислый кальций (карбонатные солонцы), алюмосиликатный коллоидальный комплекс при рассолонцевании солонца страдает сравнительно слабо, так как углекислый кальций, препятствуя разрушению его водой, защищает его от вымывания.

2. **Взаимное свертывание коллоидов.** Коллоидально распыленные вещества свертываются не только при действии на них электролитов; свертывание может произойти и при встрече в одной и той же дисперсионной среде коллоидальных частиц, несущих противоположные электрические заряды; это явление носит название взаимного свертывания (или взаимной коагуляции) коллоидов. Мы выше видели, что возникающие в почвенных растворах коллоидально раздробленные частички различных веществ могут обладать и неодинаковым зарядом: органические коллоидальные частички и коллоидальная кремнекислота могут нести отрицательный заряд, а коллоидальные гидраты окисей железа и алюминия — положительный; могут быть и другие комбинации.

При встрече таких противоположно заряженных коллоидальных частиц может произойти их взаимное свертывание с образованием сложных комплексов, состоящих из двух и более коллоидально распыленных веществ. Взаимная коагуляция может и не произойти: полное осаждение происходит лишь при определенном отношении количеств противоположно заряженных дисперсных фаз; при ином соотношении осаждение будет неполное или его вовсе не будет; мы имеем тут дело с явлением так называмых зон осаждаемости и неосаждаемости.

Взаимное осаждение коллоидальных веществ почвы играет существенную роль в образовании иллювиальных горизонтов почвы, и, по всей вероятности, этому процессу в значительной степени обязано образование почвенного поглощающего комплекса в почвах влажных областей (см. ниже, стр. 480). Поэтому изучение взаимной коагуляции встречающихся в почве отдельных коллоидов представляет большое значение для познания почвообразования.

Для иллюстрации явления взаимной коагуляции мы здесь приведем из имеющейся литературы несколько данных, касающихся тех коллоидов, какие встречаются в почве.

Взаимная коагуляция гидратов окиси железа и алюминия с почвенными органическими веществами *. Продиализированный водный раствор сфагнового торфа (в 1 *см*^{3} его содержалось 0,000247 *г* гумуса) смешивался с различными объемами золя гидрата окиси железа (в 1 *см*^{3} его содержалось 0,000285 *г* Fe_2O_3); через 24 часа производилось наблюдение. Вот результат:

Гумус, *см*^{3}	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Золь $Fe(OH)_3$, *см*^{3}	0,1	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5	5,0
	Не было коагуляции		Коагуляция								Не было коагуляции			

Коагуляция в этом опыте имела место, когда на одну часть Fe_2O_3 приходилось от 2,79 и до 0,93 части гумуса.

Продиализированный водный раствор органических веществ (в 1 *см*^{3} содержалось 0,000792 *г* гумуса) смешивался с разными объемами золя гидрата окиси алюминия (в 1 *см*^{3} его содержалось 0,000295 *г* Al_2O_3). Вот результат:

Гумус, *см*^{3}	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Золь $Al(OH)_3$, *см*	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	2,0	3,0	4,0
	Не коагулировало		Коагулировало							Не коагулировало			

Коагуляция происходила в этом опыте, когда на 1 часть Al_2O_3 приходилось от 24,37 до 5,42 части гумуса.

Взаимная коагуляция положительно заряженных золей гидратов окиси железа и алюминия с отрицательно заряженным золем кремнекислоты **. К золю гидрата окиси железа (1 *см*^{3} содержал 0,00036 *г* Fe_2O_3)

* *В. Аарнио.* О выпадении окислов железа и алюминия в песчаных и щебенчатых почвах Финляндии.— Почвоведение, 1915, т. XVII, № 2 и 3.

** *В. Н. Симаков.* О взаимодействии золей гидрата окиси железа, гидрата окиси алюминия, кремнекислоты и перекиси марганца.— Сообщ. Отд. почв. ГИОА, вып. 3, 1928, стр. 27, а также в Koll. Ztschr., Bd. 45, 1928, H. 3.

прибавляли различные количества золя кремнекислоты (1 *см*³ его содержал 0,00136 *г* SiO_2), и объемы уравнивались прибавлением воды.

Вот результат:

Молекулярное отношение $Fe_2O_3:SiO_2$	1 : 2,0	1 : 2,0	1 : 1,50	1 : 1,25	1 : 1,0	1 : 0,75	1,0 : 1,50
Золь $Fe(OH)_3$, *см*³	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Золь SiO_2, *см*³	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Вода, *см*³	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
	Неполная коагуляция		Полная коагуляция			Не коагулировало	

Взаимная коагуляция золей гидрата окиси железа и кремнекислоты происходила только в тех случаях, когда на 1 часть Fe_2O_3 приходилось от 1 до 1,6 части SiO_2.

Золи гидрата окиси алюминия и кремнекислоты смешивались в различных отношениях (1 *см*³ золя гидрата окиси алюминия содержал 0,00032 *г* Al_2O_3, 1 *см*³ золя кремнекислоты — 0,00136 *г* SiO_2) и объемы уравнивались прибавлением воды.

Вот результат:

Молекулярное отношение $Al_2O_3:SiO_2$	1 : 1,4	1 : 1,8	1 : 3,6	1 : 7,2	1 : 9,6	1 : 16,0	1 : 18,0	1 : 24,0	1 : 28,0	1 : 36,0	1 : 72,0
Золь $Al(OH)_3$, *см*³	1,0	1,0	1,0	1,0	0,75	0,45	0,40	0,30	0,25	0,20	0,10
Золь SiO_2, *см*³	0,20	0,25	0,50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Вода, *см*³	0,80	0,75	0,50	0,0	0,25	0,55	0,60	0,70	0,75	0,80	0,90
	Не коагулировало		Коагулировало							Не коагулировало	

Взаимное свертывание золя гидрата окиси алюминия и золя кремнекислоты происходило, когда на 1 часть Al_2O_3 приходилось от 7,2 до 16,0 частей SiO_2.

Поглощение при выпадении осадков. Физическим поглощением (положительной адсорбцией) можно объяснить часто наблюдающееся явление при осаждении трудно растворимых солей из растворов: получающиеся осадки бывают в той или иной мере загрязнены солями, находящимися в той жидкости, в которой производилось осаждение; это так

называемое явление окклюдирования осадками тех или других веществ. Это явление общее, но количественная сторона его находится в зависимости от природы и физических свойств осадка и природы и концентрации солей, находящихся в растворе. Вообще, чем выше степень дисперсности осадка, тем сильнее адсорбция, хотя закономерность эта проявляется и не всегда; так, наиболее детально изученный в этом отношении сернокислый барий несмотря на даваемый им при правильном осаждении кристаллический осадок бывает более загрязнен посторонними солями, нежели другие выпадающие в аморфном виде вещества. По-видимому, дело здесь в том, что физическое поглощение образующимися осадками происходит во время самого образования осадка, во время зарождения центров, из которых затем путем нарастания, а может быть, слияния образуются микрокристаллики; таким образом, поглощенная соль оказывается внутри кристалла; этим, по-видимому, надо объяснить невозможность удаления промыванием осадка загрязняющих его примесей. Для того чтобы дать представление о количественной стороне рассматриваемого явления, приведу в нижеследующих двух таблицах количество различных катионов (данные Jonston'а и Adams'а) и различных анионов (данные H. Weiser'а), найденных в осадках сернокислого бария при осаждении последнего при вполне определенных условиях *.

Адсорбция сернокислым барием различных катионов

Катион	1 *г* сернокислого бария адсорбировал			Катион	1 *г* сернокислого бария адсорбировал		
	мг-экв	*ммоль*	*мг*		*мг-экв*	*ммоль*	*мг*
Магния	0,048	0,024	0,576	Никеля	0,062	0,031	1,820
Лития	0,033	0,033	0,231	Меди	0,082	0,041	2,608
Натрия	0,029	0,029	0,667	Цинка	0,080	0,040	2,616
Калия	0,033	0,033	1,287	Марганца	0,128	0,064	3,520
Алюминия	0,051	0,017	0,459	Кадмия	0,160	0,080	8,992
Железа (закиси)	0,074	0,037	2,072				

Когда осаждаются электролитами коллоидальные растворы или когда происходит взаимная коагуляция коллоидов в среде, содержащей электролиты, то также имеет место поглощение электролитов. Изучение этого явления при осаждении золей показало, что осаждающиеся коллоиды увлекают из раствора тот ион, который вызывает осаждение, т. е. если мы имеем положительный коллоид, то он увлекает при осаждении анион осаждающего электролита, если отрицательный коллоид, то — катион электролита; увлекается, одним словом, осаждающимся коллоидом именно тот ион, который нейтрализует электрический заряд коллоидальных частиц. Так, по исследованию Weiser'а, при осаждении гидрозоля As_2S_3

* *H. B. Weiser.* Adsorption by precipitates.— J. Alexander's Kol. Chem., v. 1, p. 600.

Адсорбция сернокислым барием различных анионов

Анион	100 *г* сернокислого бария адсорбировали		Анион	100 *г* сернокислого бария адсорбировали	
	г-экв	*г-мол*		*г-экв*	*г-мол*
Ферроцианида	13,201	3,300	Хлорида	1,760	1,760
Нитрата	8,842	8,482	Бромида	0,831	0,831
Нитрита	7,467	7,467	Цианида	0,310	0,310
Хлората	5,837	5,837	Сульфоцианида	0,220	0,220
Перманганата	2,847	2,847	Иодида	0,056	0,056
Феррицианида	2,695	0,898			

(отрицательный коллоид) хлоридами бария, стронция и кальция катионы этих солей адсорбировались коллоидом, в зависимости от его концентрации, в следующих количествах:

Адсорбция катионов при осаждении золя As_2S_3

Катион	Концентрация, *г/л*	Адсорбировалось катиона, *мг-экв/г* As_2S_3	Катион	Концентрация, *г/л*	Адсорбировалось катиона, *мг-экв/г* As_2S_3
Бария	6,42	0,115	Бария	21,50	0,072
Стронция	6,42	0,107	Стронция	21,50	0,069
Кальция	6,42	0,093	Кальция	21,50	0,073
Бария	11,80	0,060	Бария	29,00	0,049
Стронция	11,80	0,056	Стронция	29,00	0,046
Кальция	11,80	0,043	Кальция	29,00	0,050

Приведу еще данные того же исследователя для положительно заряженного коллоида: золь гидроокиси алюминия осаждался различными электролитами одной и той же концентрации; в отстоявшейся жидкости определялось количество аниона. Вот полученный результат:

Адсорбция анионов при осаждении золя $Al(OH)_3$

Анион	На 1 *г* Al_2O_3 поглотилось, *мг-экв*	Анион	На 1 *г* Al_2O_3 поглотилось, *мг-экв*
Ферроцианида	1,280	Хромата	0,870
Феррицианида	1,214	Дитионата	0,657
Сульфата	0,997	Дихромата	0,629
Оксалата	1,142		

Если бы адсорбция происходила только в результате нейтрализации электрического заряда коллоидальных частиц ионом, несущим противоположного знака заряд, то различные ионы при одних и тех же условиях должны были бы поглощаться данным коллоидом в эквивалентных количествах: приведенные данные показывают, однако, что это не совсем так. Поэтому Weiser считает, что действительное количество увлеченного осаждающимся коллоидом иона слагается: 1) из адсорбированного иона электрически заряженными частицами золя во время их нейтрализации и 2) из адсорбированной соли уже электрически нейтральными частицами коллоида во время процесса их соединения между собой и осаждения.

Таким образом, при коагуляции коллоидов происходят и поглощение одного из ионов (противоположно заряженного по сравнению с коллоидом), и поглощение всей соли. Поэтому можно думать, что и при осаждении солей из химического раствора (например, при осаждении сернокислого бария) имеет место адсорбция двоякого рода: в период образования осадка он очень высокой дисперсности и поэтому коллоидального характера, идет односторонняя адсорбция одного из ионов или ионов одного знака, а затем, когда осадок станет уже менее дисперсным, идет физическое поглощение солей.

Глава 4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ, ИЛИ ОБМЕННАЯ ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ, ИЛИ ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ В ТЕСНОМ СМЫСЛЕ

Этот вид поглотительной способности почвы играет особенно существенную роль во всех почвенных процессах и вместе с тем он является наиболее изученным; поэтому мы остановимся на нем подробнее.

1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ПОЧВОЙ И РАСТВОРАМИ ХЛОРИСТОГО АММОНИЯ

Опыт показывает, что если взболтать какую-либо почву с раствором хлористого аммония и отфильтрованную затем жидкость проанализировать, то в ней кроме хлористого аммония окажутся еще другие хлориды для большинства почв — именно хлористый кальций и хлористый магний: между тем, если ту же почву взболтать с водой, кальций и магний в фильтрате обнаруживаются в количествах несравнимо меньших. Очевидно, при соприкосновении хлористого аммония с почвой кальций и магний переходят в раствор из почвенных соединений, не растворимых в воде.

Исследование того же фильтрата показывает далее, что количество иона хлора осталось в нем такое же, что и в первоначально взятом для опыта растворе хлористого аммония, количество же иона аммония уменьшилось, причем для большинства почв количество исчезнувшего из

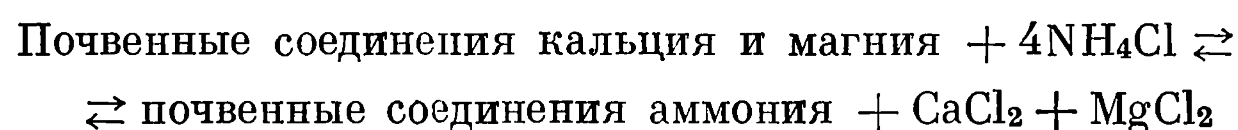
раствора аммония равно в точности общему количеству перешедших в раствор из почвы ионов кальция и магния, если, конечно, то и другое количество выразить в грамм-эквивалентах; в некоторых же случаях количество исчезнувшего из раствора иона аммония несколько больше суммы ионов кальция и магния, а так как и при этом иона хлора остается прежнее количество, то после воздействия раствора хлористого аммония на такие почвы нейтральный раствор NH_4Cl становится кислым: мы сейчас на таких почвах останавливаться не будем; об этих почвах, носящих название «почв ненасыщенных основаниями», нам придется говорить подробнее ниже, теперь же мы будем иметь в виду лишь «почвы, насыщенные основаниями», в опытах с которыми в раствор хлористого аммония переходят из почвы как раз столько же Ca и Mg, сколько (в грамм-эквивалентах) исчезает из раствора аммония.

Так например, в опыте с черноземом Тульской губернии 10 *г* почвы обрабатывались двое суток 100 *см*^{3} раствора хлористого аммония концентрации 0,1 н.; в отфильтрованном растворе по перечислении на 100 *г* почвы было найдено 0,343 *г* Ca и 0,044 *г* Mg; эти количества Ca и Mg вместе эквивалентны 0,375 *г* NH_4; действительно, в растворе оказалось (по перечислении на 100 *г* почвы, т. е. на 1000 *см*^{3} раствора) меньше NH_4 на 0,369 *г* нежели в первоначальном. Для всякого рода расчетов очень удобно выражать количество вытесняемых из 100 *г* почвы оснований и количество поглощаемого при этом аммония не в граммах (или не в процентах от веса почвы), а в эквивалентах, и так как эти количества всегда невелики (обычно меньше 1 *г*), то не в грамм-эквивалентах, а в миллиграмм-эквивалентах, для чего количества вытесняемых из 100 *г* почвы или поглощаемых 100 *г* почвы катионов помножаются на 1000 и делятся на эквивалентный вес данного катиона (т. е. при однозначных катионах — на их атомный вес, при двузначных катионах — на их атомный вес, деленный на два, и т. д.).

Выражая данные вышеприведенного опыта с тульским черноземом этим способом, получим: в отфильтрованном растворе хлористого аммония найдено на 100 *г* почвы 0,343 *г* Ca, или 343 : 20 = 17,1 *мг-экв* Ca, и 0,044 *г* Mg, или 44 : 12 = 3,7 *мг-экв* Mg; в общей сумме в раствор хлористого аммония из 100 *г* почвы перешло 20,8 *мг-экв* кальция и магния. С другой стороны, из раствора в почву перешло на 100 *г* почвы 0,369 NH_4, т. е. 369 : 18 = 20,5 *мг-экв* аммония. Таким образом, в раствор хлористого аммония из почвы перешло 20,8 *мг-экв* оснований, а в почву из раствора 20,5 *мг-экв* аммония, т. е. при таком выражении полученного результата взаимодействия между хлористым аммонием и почвой сразу видно, что количество оснований, перешедших из почвы в раствор хлористого аммония, эквивалентно количеству аммония, перешедшего в почву.

Мы видим, таким образом, что между почвенными, в воде нерастворимыми соединениями, содержащими Ca и Mg как основания, и хлористым аммонием раствора происходит взаимный обмен основаниями: кальций и магний переходят в раствор и становятся вместо аммония, аммоний

же хлористого аммония становится вместо кальция и магния в нерастворимые соединения почвы; аммоний таким образом исчезает из раствора — «поглощается» почвою; поэтому это свойство почвы и названо поглотительной способностью, а в отличие от других видов поглощения — обменной поглотительной способностью, так как при этом происходит обмен поглощаемого основания на почвенные основания; эта же способность может быть названа по характеру самого процесса *физико-химической* (по причине, которая будет выяснена впоследствии), или же, наконец, она называется еще поглотительной способностью в тесном смысле (так как в почвоведении этим видом поглощения занимались главным образом, и этому именно явлению и было, собственно, дано название поглотительной способности). Происходящую при этом реакцию в самом общем виде можно представить таким уравнением:



Почвенные соединения кальция и магния $+ 4NH_4Cl \rightleftarrows$

$\rightleftarrows$ почвенные соединения аммония $+ CaCl_2 + MgCl_2$

Между обеими частями уравнения поставлено не равенство, а знак $\rightleftarrows$, так как данная реакция обмена представляет собой обратимую реакцию.

Не вся почва участвует в обмене своего кальция и магния на аммоний хлористого аммония, а только некоторая часть ее, бо́льшая или меньшая в зависимости от того, с какой почвой мы имеем дело. Та часть почвы, которая способна содержащиеся в ней кальций и магний обменивать на аммоний, вся в целом носит название *почвенного поглощающего комплекса*. Комплексом она называется потому, что состоит из многих отдельных химических соединений, а «поглощающим» потому, что обладает поглотительной способностью. У некоторых почв величина их поглощающего комплекса может достигать 75% от веса почвы; у других же она может составлять лишь несколько процентов и даже десятых процента; таким образом, она может колебаться в очень широких пределах.

Нерастворимые в воде соединения почвенного поглощающего комплекса, кальций и магний которых способны к такому обмену на аммоний хлористого аммония, принадлежат к органическим и неорганическим соединениям. Природа и тех и других нам очень мало известна. Органические соединения почвы, способные свой кальций и магний обменивать на аммоний, носят название *органического поглощающего комплекса*, или «гуматов», так как, согласно прежнему воззрению, они представляют собой нерастворимые в воде соли гуминовой кислоты и кальция и магния; в настоящее время такое представление о почвенных гуматах постепенно вытесняется другим, а именно гуматы (по крайней мере часть их) рассматриваются не как определенные химические соединения (соли) гуминовых веществ с кальцием и магнием (или с другими какими-либо катионами), а как адсорбционные соединения коллоидального органического вещества почвы с этими катионами.

Что касается минеральной части почвы, кальций и магний которой способны заменяться аммонием, то она представляет собой сложный комплекс алюмосиликатов; эту часть почвы мы будем называть минеральным, или алюмосиликатным поглощающим комплексом, или «цеолитной» частью почвы. Относительно последнего названия надо иметь в виду следующее: оно было дано этой части почвы давно; когда была констатирована способность почвы обменивать свои основания на основания солевых растворов, было уже известно, что минералы, носящие название цеолитов, также обладают таким же свойством, поэтому возникло предположение, что почвы содержат минералы— цеолиты, и эту часть почвы назвали цеолитной частью; теперь мы с достоверностью знаем, что в почвах таких именно минералов, которые в минералогии носят название цеолитов, нет, но сохраняем прежнее историческое название, вкладывая в него иной смысл, а именно: *под цеолитной частью почвы понимаем тот сложный алюмосиликатный комплекс, который способен обменивать свои основания на основания солевых растворов.*

Те катионы или основания, которые находятся в почвенном поглощающем комплексе и которые способны обмениваться на катион NH_4, носят название почвенных поглощенных (или обменных) катионов (или оснований); те из этих поглощенных катионов, которые содержатся в органическом поглощающем комплексе почвы, называются гуматными основаниями, или гуматными катионами; основания, или катионы, входящие в алюмосиликатный поглощающий комплекс почвы и способные к обмену на катион NH_4, носят название цеолитных оснований, или цеолитных катионов.

Необходимо иметь в виду, что изучение в отдельности обмена гуматных оснований и обмена цеолитных оснований при современном состоянии вопроса нельзя производить, так как отделить эти части одну от другой мы еще не умеем; поэтому пока обе эти части почвы в отношении их способности поглощать изучались совместно; в последующем мы всюду будем говорить о почвенном поглощающем комплексе в целом и о его поглощенных основаниях, так как имеющиеся данные относятся к обеим этим частям совокупно; делаем это ввиду указанной невозможности выделить то, что относится к органической части поглощающего комплекса и к минеральной его части в отдельности, и потому еще, что, по всей видимости, законы, управляющие рассматриваемым явлением, для обеих частей одни и те же. Встречающиеся в литературе цифровые данные с обозначением «цеолитные основания», или «цеолитные катионы» означают всю совокупность их, находящихся во всем поглощающем комплексе почвы, т. е. именно поглощенные основания (или катионы) почвы.

Во всех исследованных до сих пор почвах, насыщенных основаниями, как нормальное правило, в качестве поглощенных оснований встречаются лишь кальций и магний, причем вообще кальций значи-

тельно преобладает над магнием; как первое приближение можно считать, что из общего количества поглощенных оснований на кальций приходится около 80%, а на магний — около 20%. Встречаются, однако, почвы, содержащие и поглощенный натрий; к таким почвам принадлежат почвы, засоленные хлористым и сернокислым натрием (натриевые солончаковые почвы и солонцы).

После этих замечаний возвратимся опять к опыту воздействия на почву раствором хлористого аммония. Мы видели, что катион хлористого аммония — NH_4— вытеснял из всякого чернозема содержащиеся в нем поглощенные катионы — Ca и Mg. Исследуем ближе ход этой реакции взаимного обмена.

1. Влияние концентрации хлористого аммония на количество вытесняемых из почвы поглощенных оснований. Опыт с самарским черноземом: 10 *г* почвы обрабатывались в течение 48 часов 50 *см*^{3} раствора хлористого аммония различной концентрации.

Концентрация NH_4Cl, н.	Вытеснено из почвы			
	в % от веса почвы		в *мг-экв* на 100 *г* почвы	
	Ca	Mg	Ca	Mg
4,0	0,771	0,071	38,5	5,9
2,0	0,711	0,070	35,5	5,8
1,0	0,651	0,068	31,5	5,6
0,75	0,616	0,064	30,8	5,3
0,50	0,571	0,062	28,8	5,2
0,25	0,468	0,055	23,4	4,6
0,10	0,321	0,042	16,0	3,5
0,05	0,206	0,029	10,3	2,4
0,01	0,064	0,010	3,2	0,8

Опыт с тульским черноземом: 10 *г* почвы обрабатывались в течение 48 часов 100 *см*^{3} раствора хлористого аммония различной концентрации. В фильтрате определялся Ca.

Концентрация NH_4Cl, н.	Вытеснено из почвы кальция		Концентрация NH_4Cl, н.	Вытеснено из почвы кальция	
	в % от веса почвы	в *мг-экв* на 100 *г* почвы		в % от веса почвы	в *мг-экв* на 100 *г* почвы
4,0	0,653	32,6	0,1	0,263	13,1
2,0	0,606	30,3	0,05	0,176	8,8
1,0	0,577	28,8	0,01	0,059	2,9
0,5	0,503	25,1			

Таблицы показывают, что при одном и том же количестве почвы и раствора процент вытесняемых из почвы поглощенных кальция и магния возрастает с повышением концентрации воздействовавшего на почву раствора хлористого аммония, т. е. реакция взаимного обмена между NH_4 хлористого аммония и поглощенными Ca и Mg почвы идет тем полнее, чем концентрированнее раствор хлористого аммония; так, при 0,1 н. NH_4Cl из самарского чернозема вытесняется всего лишь 0,064% Ca и 0,010% Mg, тогда как при 4,0 н. NH_4Cl вытеснено 0,77% Ca и 0,071 Mg. Но количество вытесняемых оснований возрастает не пропорционально возрастанию концентрации NH_4Cl, а медленнее, и тем медленнее, чем выше эта концентрация; так, с увеличением концентрации NH_4Cl в пять раз, а именно с 0,01 до 0,005 н., количество извлекаемых из самарского чернозема Ca и Mg возросло не в пять раз, а для Ca с 0,64 до 0,206%, т. е. всего в 3,2 раза, для Mg — с 0,010 до 0,029%, т. е. в 3 раза, с изменением же концентрации с 0,1 до 0,5 н. количество извлекаемого Ca повысилось уже всего в 1,8 раза (с 0,321 до 0,571%), а Mg — 1,5 раза (с 0,42 до 0,062%).

2. **Влияние отношения между количеством почвы и количеством раствора хлористого аммония.** Нижеследующие данные показывают, что в известных по крайней мере пределах результат воздействия раствора хлористого аммония данной концентрации остается один и тот же, если при изменении количества берущейся для опыта почвы в той же пропорции меняется и количество воздействующего на почву раствора. Так, в одном опыте с 1,0 н. раствором хлористого аммония в одном случае бралось 10 *г* почвы и 100 *см*³ раствора, в другом — 25 *г* почвы и 250 *см*³ раствора; вот количества Ca в процентах от веса почвы, вытесненные в первом и во втором случаях:

Почва, *г*	Раствор, *см*³	Ca, %
10	100	0,609
25	250	0,608

Таким образом, если отношение между количеством почвы и количеством воздействующего на нее раствора остается постоянным, то результат обменной реакции не изменяется с изменением абсолютных количеств почвы и воздействующего раствора; но если абсолютные количества почвы и раствора меняются так, что отношение между ними не остается постоянным, то изменяется и результат обмена.

В нижеследующей таблице приводится количество Ca (в процентах от веса сухой почвы), вытесняемого из исследовавшегося чернозема при воздействии на 10 *г* его различных объемов 0,5 н. раствора хлористого аммония.

Таблица показывает, что при одном и том же количестве почвы увеличение объема воздействующего на почву раствора повышает количество вытесняемых поглощенных оснований; но повышение это не про-

Количество почвы, *г*	Объем раствора, *см*³	Отношение почвы к раствору	Вытеснено Ca, от веса почвы	Принимая 0,466 за 1
10	50	1 : 5	0,466	1
10	100	1 : 10	0,510	1,097
10	200	1 : 20	0,556	1,193
10	250	1 : 25	0,590	1,252
10	500	1 : 50	0,630	1,351
10	750	1 : 75	0,648	1,365
10	1000	1 : 100	0,660	1,416

порционально увеличению объема раствора, а значительно отстает от последнего; так, когда объем раствора увеличивался вдвое (с 50 до 100 *см*³), количество вытесняемого Ca повышалось с 0,466 до 0,510%, т. е. всего в 1,09 раз; когда количество раствора повысилось в 20 раз (с 50 до 1000), количество вытесняемого Ca возросло всего в 1,42 раза (с 0,466 до 0,660).

3. **Влияние продолжительности взаимодействия между почвой и раствором NH_4Cl.** Все имеющиеся исследования показывают, что реакция обмена почвенных поглощенных оснований на аммоний из растворов аммонийных солей происходит очень быстро; уже одной минуты воздействия между ними вполне достаточно, чтобы наступило состояние равновесия. Вот, например, результаты одного из наших исследований, в котором навески почвы обрабатывались каждая 250 *см*³ 1,0 н. раствора хлористого аммония; время воздействия было различно, как видно из нижеследующей таблицы:

Время взаимодействия между почвой и раствором NH_4Cl	Из почвы вытеснено Ca, % от веса почвы	Время взаимодействия между почвой и раствором NH_4Cl	Из почвы вытеснено Ca, % от веса почвы
Почва взбалтывалась с раствором в течение 1 мин., и жидкость тотчас же отфильтровывалась	0,544	Почва взбалтывалась с раствором 5 мин., и жидкость сейчас же отфильтровывалась	0,544
Почва взбалтывалась с раствором 2,5 мин., и жидкость сейчас же отфильтровывалась	0,545	Взаимодействие между почвой и раствором продолжалось 30 дней	0,543

Таким образом, скорость, с которой происходит поглощение почвою аммония и вытеснение соответствующего количества почвенных поглощенных оснований, очень велика; реакция взаимного обмена протекает до конца почти моментально. Достаточно, чтобы через почву быстро про-

фильтровался раствор хлористого аммония, чтобы он сделал свое дело до возможного в соответствии с его концентрацией и объемом конца.

Мы знаем, что почвенный раствор представляет собой очень сложный раствор самых разнообразных соединений; концентрация этих соединений в растворе и общее количество самого раствора могут очень сильно и быстро изменяться в связи с испарением почвою воды, поглощением ее растениями и другими живыми организмами и, наконец, в связи с выпадающими атмосферными осадками; а всякое такое изменение в состоянии почвенного раствора влечет за собою реакцию взаимного обмена между растворенными веществами и почвенной массою; из вышеприведенного ясно, что несмотря на всю быстроту, с которой изменяется состояние почвенного раствора, он в каждый момент и в отношении реакций взаимного обмена будет находиться с почвою в состоянии равновесия или в состоянии, близком к нему. Всякое искусственное изменение концентрации почвенного раствора внесением, например, удобрительных веществ сейчас же вызывает реакцию взаимного обмена, также достигающую чрезвычайно быстро состояния равновесия.

Факт большой скорости обмена аммония хлористого аммония с почвенными поглощенными основаниями очень интересен и в другом отношении: он дает нам возможность глубже проникнуть в сущность явления взаимообмена и подойти ближе к познанию природы почвенного поглощающего комплекса. Если мы возьмем реакцию химическую между трудно растворимым веществом и веществом, находящимся в растворе, например, между углекислым кальцием и фосфорнокислым натрием, то, казалось бы, должна быть полная аналогия в ходе ее с ходом обменной реакции между почвенным поглощающим комплексом и раствором хлористого аммония; и здесь и там одно из начальных веществ трудно растворимо (углекислый кальций и соединения почвенного поглощающего комплекса), а другое — в растворе; и здесь и там один из продуктов взаимного обмена — вещество, трудно растворимое (фосфорнокислый кальций и поглощающий комплекс, в котором вместо части Ca и Mg стал аммоний), а другой — легко растворимое (углекислый натрий и хлористый кальций и магний); а между тем в скорости достижения равновесия между этими реакциями громадная разница; обмен между почвенными поглощенными основаниями и аммонием достигает, как мы видели, возможного при данных условиях конца очень быстро, а обмен между углекислым кальцием и фосфорнокислым натрием длится очень долго (больше 15 дней).

Такое различное течение этих двух реакций во времени нужно объяснить так: в первом случае, т. е. в системе — почва + раствор хлористого аммония — реакция протекает полностью так быстро потому, что она протекает лишь на поверхности мелкораздробленного поглощающего комплекса почвы или в самом лишь поверхностном слое частичек его. В случае обмена между углекислым кальцием и фосфорнокислым натрием реакция происходит быстро лишь в том размере, какой соответствует величине поверхности углекислого кальция; но реакция в этом случае

этим не ограничивается; происходит постепенное растворение углекислого кальция в более глубоких слоях его зерен и постепенное проникновение туда раствора фосфорнокислого натрия, а то и другое требует уже известного времени *.

4. **Влияние объема вытеснителя при одном и том же количестве вытесняющей соли.** Очень интересно было исследовать результаты обмена в том случае, когда объем вытесняющей жидкости возрастает, изменяется, а количество взятой соли в нем остается постоянным, иначе говоря, когда количество вытесняющего катиона остается постоянным, а концентрация его в жидкости меняется.

Произведенные нами совместно с Е. Н. Ивановой опыты дали такие результаты. Навеска почвы обрабатывалась различными количествами раствора NaCl, всегда содержащими одно и то же количество NaCl. Время воздействия при частом взбалтывании — 7 дней.

10 *г* почвы и 1 *г-экв* NaCl

Объем жидкости, *л*	Концентрация NaCl, н.	Вытеснено, *мг-экв*		
		Ca	Mg	сумма
1	1,0	40,2	7,7	47,9
2,5	0,4	38,1	7,8	45,9
5	0,2	36,8	8,0	44,8
10	0,1	32,9	8.3	41,2

10 *г* почвы и 0,1 *г-экв* NaCl

Объем жидкости, *см*³	Концентрация NaCl, н.	Вытеснено, *мг-экв*		Поглотилось Na (углекислый метод)
		Ca	Mg	
100	1,0	29,6	Не опр.	33,0
250	0,4	25,0	»	29,0
500	0,2	23,0	»	25,8
1000	0,1	20,1	»	22,3

* И в почвах достижение полного равновесия между обменными катионами почвы и катионами раствора может в известных случаях требовать большего или меньшего промежутка времени; это будет тогда, когда мы имеем в почве не отдельные механические элементы, а их микроагрегаты, и когда эти микроагрегаты могут распыляться взятым для опыта раствором соли; если при этом само распыление будет происходить не моментально, а протекать во времени, то тогда, очевидно, и сам процесс обмена будет также протекать во времени.

Полученные результаты показывают, что даже после недельного взаимодействия растворов с почвой одно и то же количество катиона с уменьшением его концентрации в жидкости вытесняло все меньше и меньше обменного кальция; для обменного магния получалась картина обратная, но содержание его в жидкости было так невелико, и различие получилось так ничтожно, что делать какое-либо заключение в отношении этого обменного катиона не приходится. Но несомненно, обменный магний в почве требует более детального изучения и в этом, и многих других отношениях.

ЕМКОСТЬ ПОГЛОЩЕНИЯ

Мы раньше видели, что чем выше берется концентрация раствора хлористого аммония для взаимодействия с почвою, тем большее количество из почвы вытесняется поглощенных Ca и Mg, а значит, тем больше аммония поглощается почвой, так как замена происходит эквивалент — на эквивалент. Нет основания предполагать, что даже при самой высокой концентрации раствора NH_4Cl (насыщенный раствор) и при обычно берущихся отношениях между количествами почвы и раствора будет вытеснено все количество имеющихся в почве обменных оснований. Опыт действительно показывает, что однократной обработкой почвы раствором хлористого аммония любой концентрации не удается этого сделать: если почву после такой обработки снова привести в соприкосновение с новой порцией раствора хлористого аммония, то реакция обмена снова происходит, снова выделяется некоторое количество поглощенных Ca и Mg и поглощается эквивалентное количество аммония. Оказывается, что почву надо многократно последовательно обрабатывать раствором хлористого аммония, чтобы вытеснить из нее весь тот кальций и весь тот магний, которые способны обмениваться на аммоний, чтобы, иначе говоря, заменить все почвенные поглощенные основания аммонием, «насытить» почву аммонием.

Дело тут в том, что рассматриваемая реакция взаимного обмена представляет собой реакцию обратимую. Если для простоты представить себе, что почвенный поглощающий комплекс является солью алюмосиликатной кислоты кальция и магния [обозначим ее через А.-С. (Ca, Mg)], то реакция его с хлористым аммонием выразится уравнением:



$$\text{А.—С. (Ca, Mg)} + 4NH_4Cl \rightleftarrows \text{А.—С.} (NH_4)_4 + CaCl_2 + MgCl_2;$$

образующиеся хлориды кальция и магния препятствуют реакции идти до конца, так как их кальций и магний, со своей стороны, стремятся вытеснить из поглощающего комплекса вступивший туда NH_4; эти продукты обмена мешают, таким образом, реакции, и для полноты ее они должны быть удаляемы, что и достигается заменой отработавшего раствора NH_4Cl, содержащего поэтому хлориды кальция и магния, свежим раствором.

Для иллюстрации сказанного в нижеследующей таблице приводим количество вытесняемого из почвы кальция (в виде CaO) десятью последовательными обработками почвы 1,0 и 4,0 н. растворами хлористого аммония. Исследование велось таким образом: 200 *г* чернозема обрабатывалось 1000 *см*^{3} раствора, и жидкость оставлялась до полного просветления; тогда сливалось сифоном 750 *см*^{3}, в которых определялся кальций, и приливался к почве свежий раствор в количестве 750 *см*^{3}; все взбалтывалось, оставлялось опять до просветления, снова сливалось сифоном 750 *см*^{3} жидкости (в ней определялся кальций) и столько же прибавлялось свежего раствора и т. д. В полученных результатах определения кальция вносилась поправка на количество CaO в 250 *см*^{3} жидкости, остававшейся каждый раз от предшествующей обработки. Количество вытесняемого кальция выражено в CaO, в процентах от веса почвы.

Обработка	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я	10-я
1,0 н. NH_4Cl	0,610	0,313	0,172	0,099	0,068	0,051	0,041	0,029	0,029	0,025
4,0 н. NH_4Cl	0,823	0,364	0,184	0,080	0,059	0,041	0,032	0,025	0,020	0,015

Таблица показывает, что с каждой последовательной обработкой количество вытесняемого кальция становится все меньше и меньше и что при более концентрированном растворе хлористого аммония процесс вытеснения кальция идет быстрее, чем при более слабом растворе; но десятью последовательными обработками 4,0 н. раствором NH_4Cl не был еще вытеснен весь кальций; для этой цели понадобилось еще десять раз обрабатывать почву; всего тогда было вытеснено кальция, если его выразить в окиси, 1,309%, тогда как первые десять обработок дали его 1,236%. Такая длительность вытеснения до известной степени обусловливалась в описываемом опыте тем, что каждый раз после обработки оставалось довольно много отработавшего раствора (250 *см*^{3}), содержащего уже хлористый кальций, что уменьшало вытеснение; при полном удалении выделившегося кальция процесс весь закончился бы значительно скорее.

После того как из взятого чернозема многократной последовательной обработкой хлористым аммонием было вытеснено 1,309% CaO, или 0,935% Ca, процесс взаимодействия между почвой и раствором хлористого аммония закончился; аммоний уже больше не вытеснял каких-либо оснований из почвы и сам больше не поглощался почвой. Совместно с кальцием из этой же почвы было вытеснено 0,17% MgO, или 0,102% Mg; других оснований из почвы не вытеснялось.

Таким образом, исследовавшаяся почва содержит в своем поглощающем комплексе 0,935% Ca+0,102% Mg, могущих обменяться на NH_4, если

обработку почвы хлористым аммонием провести достаточно далеко; вместо вытесненных Ca и Mg в почве стало эквивалентное количество аммония, т. е.

$$\text{вместо } 0{,}935\,\%\text{Ca}\,\frac{0{,}935\cdot 36}{40} = 0{,}841\%\ NH_4,\ \text{а вместо } 0{,}102\%\ \text{Mg}\,\frac{0{,}102\cdot 36}{24} = 0{,}153\%\ NH_4,\ \text{а всего} - 0{,}994\ NH_4.$$

Если тот же результат изобразить не в процентах Ca, Mg и NH_4, а в миллиграмм-эквивалентах на 100 *г* почвы, то получим: вытеснено Ca — 46,75 *мг-экв*, Mg — 8,5 *мг-экв*, а всего вытеснено 55,25 *мг-экв* поглощенных оснований, значит, столько же должно было поглотиться миллиграмм-эквивалентов аммония, а 55,25 *мг-экв* NH_4 равны 0,994 *г* NH_4.

Сумма всех поглощенных (или обменных) катионов, могущих быть вытесненными из данной почвы, есть величина для этой почвы постоянная; она может измениться лишь с изменением природы самой почвы *; эта сумма называется емкостью поглощения. Нужно иметь в виду, что почвы в нормальном состоянии могут содержать лишь следы поглощенного аммония, а поэтому действием на почву хлористым аммонием мы действительно можем вытеснить все ее поглощенные катионы, и суммой их, выраженной в весе одного из них, выразить емкость поглощения этой почвы; очевидно, что если бы исследовавшаяся почва содержала в своем поглощающем комплексе и поглощенный аммоний, то обработкой ее хлористым аммонием этот поглощенный аммоний мы бы не вытеснили, и полученная таким способом сумма поглощенных оснований не представляла бы емкости поглощения, а была бы меньше ее. Выражая вытесненный Mg в весе кальция, мы для емкости поглощения исследовавшейся почвы получим такую величину:

$$0{,}935\%\ \text{Ca} + 0{,}102\%\ \text{Mg} = 0{,}935\%\ \text{Ca} + \frac{0{,}102\cdot 40}{24}\ \%\ \text{Ca} = 1{,}105\ \text{Ca}.$$

Емкость поглощения данной почвы, выраженная в Ca, равняется, таким образом, 1,105% Ca и выражает собою то количество поглощенного кальция, которое содержалось бы в этой почве, если бы в ней весь поглощенный магний был замещен кальцием. Величину емкости можно выразить в катионе NH_4 количеством его, эквивалентным вышевыведенному количеству Ca:

$$1{,}105\%\ \text{Ca} = \frac{1{,}105\cdot 36}{40}\ \%\ NH_4 = 0{,}994\ NH_4;$$

* Если под емкостью поглощения понимать то, что я подразумевал под этим термином, а именно: «сумму всех содержащихся в почве катионов, способных к обмену», то должно быть совершенно ясно, что эта величина для каждой данной почвы представляет собою очень устойчивую величину, изменяющуюся лишь с изменением самого характера почвы, с той медленной эволюцией, которая имеет место для любого вида почвы. Если тем не менее некоторые исследователи констатируют быструю и притом периодическую изменчивость этой величины (М. А. Винокуров), то здесь дело, очевидно, в несовершенстве нашей методики определения как поглощенных катионов в отдельности, так и общей суммы их.

это число представляет собой то количество иона NH_4, которое может быть поглощено 100 *г* почвы при полном вытеснении из нее раствором хлористого аммония всех первоначально содержащихся в почве обменных оснований; поэтому эту величину и называют емкостью поглощения (в данном случае — поглощения аммония).

Если содержание отдельных поглощенных катионов почвы выражено в миллиграмм-эквивалентах на 100 *г* почвы, то емкость поглощения можно выразить суммой миллиграмм-эквивалентов всех поглощенных катионов почвы. В этом случае в приведенном выше примере будем иметь: 0,935% Ca=46,75 *мг-экв*; 0,102% Mg=8,5 *мг-экв*; емкость поглощения 100 *г* почвы в этом случае равна 46,75+8,50=55,25 *мг-экв*. Такое выражение емкости поглощения во многих случаях представляет большие преимущества сравнительно с выражением ее в весе какого-либо одного катиона, а так как от этих миллиграмм-эквивалентов легко уже перейти к выражению ее в количестве всякого рода катионов, то выражение емкости поглощения почвы в миллиграмм-эквивалентах на 100 *г* почвы теперь наиболее употребительно.

Исследование показывает, что все сказанное в отношении рассматривавшегося здесь чернозема справедливо и для любой почвы, насыщенной основаниями, кроме самой величины емкости поглощения; каждая почва содержит в своем поглощающем комплексе вполне для нее определенное количество поглощенных катионов; пока почва остается сама собой, пока ее природа не изменилась, величина емкости поглощения этой почвы остается постоянной; но для разных почв она будет, вообще говоря, различна; величина емкости поглощения является очень существенной характеристикой почвы.

Мы выше указывали, что непосредственно изучать обменные реакции в отдельности минерального и органического поглощающих комплексов мы не можем, так как не умеем их отделять один от другого, но определять непосредственно емкость обмена минерального поглощающего комплекса, а по разности и органического, можно, по-видимому, с достаточной точностью, уничтожив органические вещества почвы обработкой ее перекисью водорода. После такой обработки емкость обмена минерального поглощающего комплекса сколько-нибудь заметно не изменяется, и ее можно определить, например, моим углекислым методом или методом Kelley (насыщение аммонием с последующим его определением); но определение отдельных первоначально присутствовавших в этой части комплекса обменных катионов обработкой почвы перекисью водорода невозможно, так как эта обработка состав обменных катионов в почве меняет. Но во всяком случае, теперь мы имеем достаточно обоснованный метод изучения роли минерального и органического поглощающих комплексов, каждого в отдельности, в явлениях обмена катионов в почве *.

* См. *К. Гедройц*. Действие перекиси водорода на почву.— «Удобрение и урожай», 1931, № 9 и 10. Там же приведена литература по этому вопросу. (См. также стр. 361 в наст. томе).

2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ПОЧВОЙ И РАСТВОРАМИ ЛЮБЫХ СОЛЕЙ

До сих пор мы изучали взаимодействие между почвами и раствором хлористого аммония; аммоний поглощался почвами, а взамен в раствор переходили почвенные поглощенные катионы. Вместо хлористого аммония можно взять всякую другую соль любого металла и любой кислоты, и при этом из взятой в растворе соли почва будет поглощать катион соли и выделять в раствор соответствующие количества своих поглощенных катионов; вместо почвенных поглощенных катионов может быть помещен в почву любой металлический катион; всякий металлический катион может заместить собою и вытеснить из почвы ее поглощенные катионы; для этого нужно только применить тот же прием обработки почвы раствором соли этого катиона, какой применялся выше для замещения поглощенных катионов аммонием. И совершенно так же, если обработку вести достаточное число раз, из почвы можно нацело вытеснить все ее природные поглощенные катионы и заместить их желательным нам катионом.

Так, например, обработкой почвы раствором какой-либо натриевой соли можно все почвенные поглощенные катионы вытеснить и заместить натрием; полученная почва будет в своем поглощающем комплексе содержать тогда только один поглощенный катион, именно Na; такую почву мы для краткости называем просто «насыщенною» натрием. Точно так же можно получить почву, «насыщенную» калием, аммонием, железом, алюминием и т. д., одним словом — любым металлическим катионом, и всегда в раствор будут переходить почвенные поглощенные катионы; необходимо при этом иметь в виду следующее: если мы почву обрабатываем такой солью, катион которой не содержится в ее поглощающем комплексе, то в этом случае в раствор перейдут все почвенные поглощенные основания и нацело (если, конечно, почва обрабатывалась взятой солью достаточное количество раз); если берем соль такого катиона, который уже содержится в почвенном поглощающем комплексе, например, соль кальция, то из почвы вытесняются все другие почвенные поглощенные катионы, кроме кальция.

Примечание. Считаю необходимым подчеркнуть здесь, что между почвою и солевыми растворами могут идти и другие реакции, а не только реакция взаимного обмена основаниями, например растворение, разрушение сложных почвенных соединений с образованием более простых, физическая адсорбция и т. п.; при изучении явлений обмена в чистом виде желательно применение таких солей, при воздействии которых на почву возможность этих побочных реакций доведена была бы до возможного минимума; такими солями будут соли нейтральные. При воздействии на почву щелочей и кислот всегда возможно ожидать достаточно резко выраженных этих побочных реакций, затемняющих, а иногда совершенно извращающих результаты обмена. Свободные щелочи, а также кислоты в значительно большей степени, нежели нейтральные соли, могут растворять почвенные соединения, разъедать поверхность механических элементов почвы и тем увеличивать поверхность взаимодействия между почвенными частичками и солевыми растворами, т. е. повышать,

например, естественную емкость поглощения почвы. Емкость поглощения станет, конечно, в этих условиях большей, но это уже будет емкость поглощения измененной почвы; в этих условиях вполне возможно, например, появление в черноземных или подзолистых почвах поглощенного натрия и калия (имею в виду, конечно, не тот натрий и калий, которые появятся в почве в поглощенном состоянии вследствие поглощения их из обрабатывающих почву щелочей, а естественно присутствующие в более глубоких слоях почвенных механических элементов). Такое же действие могут оказывать и щелочные и кислые соли, поскольку они щелочны и кислы в растворах. Кроме того, такие соединения, как углесоли, благодаря летучести их кислоты, гораздо легче, чем хлориды и сульфаты, могут вступать в разнообразные реакции (не имеющие ничего общего с обменной поглотительной способностью) с почвенными соединениями, особенно органическими.

Из сказанного вовсе, конечно, не следует, что не надо изучать действие щелочных и кислых соединений на почву; наоборот, их надо усиленно изучать, но вместе с тем и более глубоко, так как их действие несравненно сложнее действия нейтральных солей, а так как результатом действия на почву щелочных и кислых соединений, несомненно, должно быть изменение в почвенном поглощающем комплексе, а значит, и его реакциях обмена с нейтральными солями, то не следует смешивать по существу и по терминологии свойства естественного почвенного поглощающего комплекса со свойствами таким образом искусственно измененного комплекса.

Нельзя, конечно ручаться, что и при воздействии на почву нейтральных солей не происходит никаких изменений в существе поглощающего комплекса, а лишь только обмен катионов; но во всяком случае реакция обмена в этих условиях оказывается в большинстве случаев (когда не участвует водородный ион) почти совершенно обратимой; затем иного, более индифферентного способа замены поглощенных катионов почвы мы пока не имеем*), и потому приходится именно на него смотреть как на основной метод.

Сложнее дело с почвами, не насыщенными основаниями: здесь при обработке их нейтральными солями получается кислая жидкость; освобождающаяся кислота, концентрация которой в момент освобождения ее может около почвенных частиц достигать значительных величин, вносит, конечно, в действие нейтральных солей на почву и другие реакции, кроме реакций обмена.

В почве, насыщенной искусственно каким-либо катионом, этот катион, теперь уже поглощенный, будет содержаться в количестве, эквивалентном сумме природных ее поглощенных катионов, так как обработка почвы растворами нейтральных солей не изменяет ее емкости поглощения; таким образом, зная емкость поглощения данной почвы, выраженную суммой ее природных поглощенных катионов в одном из них или в миллиграмм-эквивалентах, легко вычислить, сколько такая почва в состоянии насыщения любым катионом будет содержать последнего. Так, емкость насыщения рассматривавшегося выше чернозема равняется 1,105% Ca; значит, эта почва, насыщенная натрием, будет содержать

$$\frac{1{,}105 \cdot 2 \cdot 23}{40}\ \%\ \mathrm{Na} = 1{,}271\%\ \mathrm{Na};$$

* Очень возможно, что таким способом окажется метод определения поглощенных оснований с помощью электролиза.

насыщенная алюминием

$$\frac{1{,}105 \cdot 2 \cdot 27}{40 \cdot 3}\ \%\ \mathrm{Al} = 0{,}497\%\ \mathrm{Al}.$$

Еще проще эти перечисления, когда емкость поглощения почвы дана не в процентах какого-нибудь катиона, а, как указывалось выше, в миллиграмм-эквивалентах; для данного случая она равна 55,25 *мг-экв* на 100 *г* почвы. Чтобы получить процентное содержание любого катиона, насыщающего эту почву, надо это число помножить на эквивалентный вес этого катиона и разделить на 1000.

В отношении емкости поглощения все металлические катионы равнозначны: любым из них почва может быть насыщена, и в таком состоянии содержание их в почве равно ее емкости поглощения (само собой разумеется, что при этом необходимо принимать во внимание атомный вес и значность катиона, т. е. эквивалентный вес катиона):

$$23\textit{г}\ \mathrm{Na} = 39\textit{г}\ \mathrm{K} = \frac{40}{2}\textit{г}\ \mathrm{Ca} = \frac{24}{2}\textit{г}\ \mathrm{Mg} = \frac{27}{3}\textit{г}\ \mathrm{Al}\ \text{и т. д.}$$

Почву можно насытить не одним только катионом, но и любой смесью их; для этого почву нужно обрабатывать раствором, содержащим смесь солей этих катионов в определенной концентрации. Так, например, при обработке образца одного чернозема смесью солей, содержащей 0,5 н. NaCl и 0,5 н. KCl, до полного удаления из него природных поглощенных оснований, получилась почва, содержащая в поглощающем комплексе 0,38% Na и 1,14% K; если перечислить эти данные на эквивалентное количество кальция, то получим в сумме 0,915% Ca; емкость же поглощения этой почвы, выраженная в кальции, равнялась 0,906% Ca; таким образом, действительно, в этой почве все природные обменные катионы (в данном случае Ca и Mg) были замещены Na и K.

Оказывается, далее, что почвенные поглощенные катионы могут быть замещены не только любым металлическим катионом, но и ионом водорода. Если почву многократно последовательно обрабатывать соляной кислотой низкой концентрации (не выше 0,05 н.), то при такой обработке происходит лишь слабое разрушение почвенных соединений, а идет главным образом обмен почвенных поглощенных катионов на катион кислоты — водород, причем если почва обработана кислотой достаточное количество раз, то все поглощенные катионы ее нацело замещаются водородом.

Итак, поглощающий комплекс всякой почвы содержит определенное количество поглощенных катионов; эти катионы способны вытесняться и замещаться любым катионом или смесью любых катионов; замещение происходит вследствие реакции двойного обмена катионов, между соединениями поглощающего комплекса почвы и раствором взятой соли или кислоты; как реакция двойного обмена замещение происходит пай на пай.

Примечание. Ввиду того, что и нейтральные соли, а особенно 0,05 н. соляная кислота, при воздействии на почву вызывают не только реакции взаимного обмена, но и ряд других (см. предшествующее примечание, стр. 447), выраженных в той или другой степени, в зависимости от рода соли, самой почвы, концентрации раствора, кроме того, вследствие самой техники насыщения, процесс перевода почвы из состояния насыщенности одними катионами (или одним катионом) в состояние насыщенности другими катионами (или другим катионом) практически может быть и не вполне обратимым.

ПОЧВЫ, НЕ НАСЫЩЕННЫЕ ОСНОВАНИЯМИ

Указывалось ранее, что в природе встречаются и такие почвы, у которых обмен поглощенных оснований на аммоний хлористого аммония происходит не в эквивалентных количествах: аммония поглощается больше, чем то следует по количеству находимых в прореагировавшем растворе почвенных поглощенных оснований; такие почвы после взаимодействия с нейтральными растворами хлористого аммония или любой другой соли дают кислые растворы. Только что указанная способность обменных оснований почвы замещаться водородом вполне объясняет, в чем тут дело.

В таких ненасыщенных основаниями (или, иначе сказать, металлическими катионами) почвах в числе природных поглощенных катионов находится водород; при реакции взаимного обмена с хлористым аммонием происходит замена в поглощающем комплексе почвы аммонием не только поглощенных металлических катионов, но и иона водорода; в раствор вместо поглощенного аммония переходят и металлические катионы, и ион водорода, т. е. получаются не только хлориды соответствующих оснований, но и свободная хлористоводородная кислота.

Почву, не насыщенную основаниями, можно легко получить из любой насыщенной основаниями; для этого достаточно эту почву по вышеуказанному обработать соляной кислотой концентрации около 0,05 н.; если обработку при этом вести до полного замещения поглощенных оснований водородным ионом, то получим почву, совершенно лишенную поглощенных оснований; если же остановиться раньше, то получится почва, в большей или меньшей степени не насыщенная основаниями.

После этого замечания о почвах, не насыщенных основаниями, мы можем формулировать основной закон, управляющий явлением физико-химической поглотительной способности почв в его общем виде таким образом: *все почвы обладают способностью обменивать содержащиеся в их поглощающем комплексе поглощенные катионы (как металлические, так и водородные) на любые катионы электролитов (как металлические, так и водородные), причем количество катионов, поглощенное почвой, эквивалентно количеству катионов, вытесненных из почвы в раствор.*

Отметим, что до самых последних лет не было непосредственного, прямого доказательства существования в почвенном поглощающем комплексе обменного водорода. Некоторые почвоведы до самого последнего

времени отрицали возможность вступления этого катиона в обменное состояние в почву (Kappen и его школа) и приписывали все те явления, какие мы выше отмечали, присутствию в почве обменного алюминия, а не водорода, причем основанием для этого послужили исследования японского агрохимика Daikuhara («Bul. of Imper Cnt. Agr. Station», Japan, 1914, v. II, N 1; см. мой реферат этой работы и примечания к нему в «Журн. оп. агр.», т. XVII, 1916, стр. 13), нашедшего в солевых вытяжках из кислых почв алюминий и объяснившего его происхождение там как реакцию обмена катиона бравшегося им хлористого калия на поглощенный алюминий почвы, с образованием в растворе хлористого алюминия, соли, как известно, гидролитически распадающейся на недиссоциирующий $Al(OH)_3$ и свободную соляную кислоту; появление водородного иона в нейтральном до воздействия на почву солевом растворе Daikuhara объяснил, таким образом, не присутствием в кислой почве способного к обмену H, а побочным явлением, свойством солей алюминия и сильных кислот к гидролитическому расщеплению.

Взятый в отдельности факт постоянного присутствия алюминия в солевых вытяжках из почв, не насыщенных основаниями, может, несомненно, трактоваться в пользу признания обменного алюминия в почве причиной кислотности почвы; но вся совокупность свойств почв, не насыщенных основаниями, привела меня еще в 1911 г. к мысли о содержании в этих почвах обменного водорода (почему я и назвал их «почвами, не насыщенными основаниями»), а после того как мною была доказана способность всех металлических катионов обмениваться с поглощенными основаниями почвы («Журн. оп. агр.», т. XVII, 1916, стр. 472, т. XX, 1919, стр. 31) и была показана возможность из почвы, насыщенной основаниями, получить обработкой 0,05 н. соляной кислотой («Журн. оп. агр.», т. XXII, 1921—1923, стр. 1) почву, целиком не насыщенную основаниями,— возможность присутствия в почве обменного водорода и действительное его присутствие в кислых почвах стало для меня несомненным. Но все-таки непосредственного доказательства, что в данной кислой почве мы имеем обменный водород, а не алюминий, до последнего времени не было. В настоящее время оно имеется и получено тремя совершенно различными путями.

Во-первых, Mattson *, вытесняя из почвы, насыщенной основаниями, ее обменные катионы чистой водой, с ускорением этого естественно идущего в почвах процесса помощью электродиализа, получил почву, полностью не насыщенную основаниями, при полной сохранности поглощающего комплекса почвы (в этих условиях нельзя было уже объяснить получившуюся кислотность почвы вступлением алюминия в ее поглощающий комплекс, так как не имелось источника алюминия для такого вступления).

---

* Journ. of Agr. Research, v. 33, 1926.— См. подробнее в моем «Хим. анализе почвы», 3-е изд., при изложении методики электродиализа.

Во-вторых, Wiegner и Pallman * блестяще теоретически обосновали экспериментальные данные, полученные еще в 1918 г. Rice и Osugi, относительно способности некоторых почв давать суспензии в воде, инвертирующие сахар, в то время как отфильтрованные вытяжки этой способностью не обладают; при этом ими же было найдено, что скорость этой инверсии увеличивается с повышением содержания почвы в суспензии; на основании этого Rice и Osugi сделали вывод, что такие почвы содержат каталитически действующий водородный ион, количество которого в суспензии зависит от количества в ней почвы **. Большим цифровым материалом Wiegner и Pallman показали электрометрически и инверсометрически, что в исследованных ими подзолистой почве, в буроземе, в глинах, подвергнутых электродиализу, и т. п. определенно наблюдается кислый эффект от присутствия в солевой жидкости твердых частиц, усиливающийся с увеличением концентрации этих частиц, что может быть объяснено только явлением обмена катиона солевой жидкости на водород твердых частиц.

Наконец, мне удалось *** совсем другим путем, а именно с помощью растения, показать, что две почвы, искусственно приготовленные из одного и того же чернозема: одна — обработкой его соляной кислотой 0,05 н. до полного вытеснения обменного кальция, другая — обработкой его растворами хлористого алюминия, также до полного вытеснения обменного кальция, резко отличаются между собой по влиянию на растение внесенного в них углекислого кальция; в то время как на первой из них (на обработанной 0,05 н. соляной кислотой) в присутствии достаточного количества $CaCO_3$ (без углекислого кальция растения на этой почве вовсе не росли) овес развивался совершенно так же, как и на первоначальном черноземе, на второй почве (т. е. на почве, в которой обменные кальций и магний были замещены алюминием и на которой без $CaCO_3$ растения также не росли) по углекислому кальцию овес давал значительно более низкий урожай, нежели на первоначальном черноземе.

Совершенно ясно, что эти две почвы были неодинаковы, что в одной из них в поглощающем комплексе содержался не алюминий, который был, несомненно, в другой почве, так как мы его туда ввели, а что-то другое, получившееся там вследствие обработки соляной кислотой и полностью обезвреживающееся внесением $CaCO_3$; это «что-то» могло быть только водородным ионом, способным к обмену.

Таким образом, в настоящее время и теоретически, и экспериментально установлена равноправность водородного иона со всеми другими металлическими катионами в отношении способности их ступать в почвен-

---

* *G. Wiegner u. H. Pallman.* Ueber Wasserstoff und Hydroxylschwärmionen um suspendierte Teilchen und dispergierte Ultramikronen.— Koll. Ztschr., Bd. 51, 1930, H. 1.

** *F. R. Rice, S. Osugi.* The inversion of cane sugar by soils and applied substances and the nature of soil acidity.— Soil Sci., v. 5, 191, N 5, p. 333.

*** *К. Гедройц.* К вопросу об обменном водороде и обменном алюминии.— Бюлл. почвоведа, № 1—4, 1930, стр. 3.

ный поглощающий комплекс, замещая там другие катионы, и способность его замещаться другими катионами.

Возвратимся снова к почвам, не насыщенным основаниями. Исследование различных типов почв в этом отношении и ряд теоретических соображений показывает, что ненасыщенность основаниями, или содержание в поглощающем комплексе почв водородного катиона, представляет собой явление, широко распространенное в природе. Очень часто оно очень резко выражено; встречаются почвы, в которых содержание этого катиона превышает, если его выразить в эквивалентах кальция, 0,5% Ca; если принять в соображение, что в почвах, очень богатых поглощающим комплексом (например, в наших тяжелых черноземах), емкость поглощения очень редко достигает 1,5% Ca, то вышеприведенная цифра для ненасыщенности говорит, что бывают почвы, в которых больше одной трети всех обменных оснований замещено водородным катионом.

Если вспомнить процесс образования почв, то станет ясным происхождение таких почв. Главным агентом химического выветривания горных пород, а затем образовавшихся из них почв является водородный ион воздействующих на породы и почвы вод; концентрация этого иона в чистой воде ничтожна (одна десятимиллионная грамма в литре воды), но она в природных водах значительно повышается вследствие содержания в них растворенных слабых кислот (углекислоты, а в почвах, кроме того, различных органических кислот); главнейшая роль водородного иона как агента выветривания заключается в вытеснении им тех оснований, которые содержатся на поверхности алюмосиликатных зерен породы и почвы, и замещении их собою; в этом отношении, как мы увидим ниже, водородный ион обладает исключительной среди других катионов горных пород и почв энергией; поэтому, несмотря на малую сравнительно его концентрацию, действие его в общем может проявиться очень сильно. Затем, по мере того как водородный ион воды расходуется на вытеснение оснований из почвы, новые молекулы воды распадаются на H и OH. Есть еще одно обстоятельство усиливающее действие этого иона; это количество воды, просачивающейся через верхние слои почвы; мы знаем, что в некоторых почвенных зонах оно достигает громадных размеров; естественно, что, несмотря на малую концентрацию водородного иона в воде, действие его при большом количестве воды может достигать больших результатов.

Пока почва находится еще в такой стадии почвообразования, что в ней содержится достаточно оснований для противодействия вытесняющему основания действию иона водорода (содержит, например, легко растворимые соли, углекислый кальций и магний), заметного накопления в ней нерастворимых продуктов, содержащих водородный катион, т. е. продуктов, не насыщенных основаниями, конечно, не может быть; но если атмосферных осадков такое количество, что простые как легко, так и трудно растворимые соли вытеснены уже на ту или другую глубину, то действие промывающей воды будет уже проявляться в образовании и накоплении таких не вполне насыщенных почвенных соединений;

начинается процесс деградации почвы, а затем ее оподзоливания. Если поглощающий комплекс почвы, насыщенный основаниями, схематически представить формулой (Поглощ. комп.) · M, где выражение, стоящее в скобках, изображает всю совокупность анионов поглощающего комплекса, а M — всю совокупность металлических поглощенных катионов, то рассматриваемое действие воды на поглощающий комплекс может быть изображено следующим уравнением:



$$(\text{Поглощ. комп.})\cdot M + H + OH \rightleftarrows (\text{Поглощ. комп.})\cdot H + MOH;$$

ясно, что взаимодействие между водой и поглощающим комплексом горной породы и почвы, приводящее к образованию продукта (Поглощ. комп.) · H, т. е. поглощающего комплекса, не насыщенного основаниями, есть та же реакция, которая управляет физико-химической, или обменной, поглотительной способностью, т. е. реакция взаимного обмена катионами между почвенным поглощающим комплексом и водой, поскольку вода является электролитом.

Так как электролитическая диссоциация воды ничтожна и содержание в ней свободного водородного иона очень мало, даже принимая во внимание возможное содержание в естественных водах свободных кислот, то из вышеприведенного уравнения следует, что даже сравнительно ничтожные количества в почвенном растворе простых солей (собственно говоря, их катионов) будут препятствовать вхождению в поглощающий комплекс почвы водородного иона воды, так как означенная реакция обратима и в присутствии металлического катиона в достаточном количестве будет идти не слева направо, а обратно — справа налево. Легко видеть, что даже очень трудно растворимые простые * соли (карбонаты кальция и магния) препятствуют водородному иону почвенного раствора вступать в поглощающий комплекс, вытеснять оттуда металлические катионы и образовывать почву, не насыщенную основаниями.

Так, если вóды, циркулирующие в почве, насыщены углекислотой при давлении CO_2, равном 1 атм., то концентрация водородного иона в такой воде достигает 10^{-5} *г* H-иона на литр; при этих же условиях растворимость $CaCO_3$ уже такова, что концентрация иона кальция достигает около $5 \cdot 10^{-1}$ *г/л*, т. е. концентрация его оказывается в 50 000 раз выше концентрации водородного иона. Совершенно ясно, что в присутствии в почве углекислого кальция и углекислого магния, а тем более заметных количеств других, более растворимых простых солей, процессы, совершающиеся в горных породах и почвах под влиянием действия на них вод, не могут идти в направлении образования ненасыщенного основаниями поглощающего комплекса.

Простые соли почв и горных пород при содержании их уже в самых небольших количествах защищают поглощающий комплекс от вхождения в него водородного иона, т. е. от перехода этого комплекса в ненасыщенное основаниями состояние.

* Простыми солями мы называем все соли, кроме силикатов, алюмосиликатов, феррисиликатов и гуматов, т. е. соли анионов Cl, SO_4, PO_4, CO_3, NO_3, NO_2.

Нет вовсе надобности для защиты углекислым кальцием поглощающего комплекса почвы от внедрения в него водородного иона, чтобы углекислый кальций содержался бы в самом верхнем горизонте почвы, т. е. уже с ее поверхности. Вполне достаточно, чтобы горизонт вскипания находился в почве не ниже той поверхности, с которой почвенные растворы в состоянии капиллярно подниматься до самой поверхности почвы; тогда во всем слое от горизонта вскипания и до поверхности почвы почвенный раствор будет насыщен углекислым кальцием, и вступление водородного иона в поглощающий комплекс будет невозможно.

Таким образом, образование в почве поглощающего комплекса, не насыщенного основаниями, а значит, и возникновение почвы, не насыщенной основаниями, возможно лишь в том случае, когда из почвы выщелочены уже почти целиком все содержащиеся в ней простые соли, как легко, так и трудно растворимые, и выщелочены на такую уже глубину, что подыматься капиллярно в верхние горизонты почвы соли эти не могут, кроме того — когда и все вновь образующиеся в продолжающемся процессе почвообразования простые соли не накопляются, а выносятся атмосферными осадками также достаточно глубоко.

Для уяснения всей совокупности явлений, совершающихся при образовании в почве поглощающего комплекса, не насыщенного основаниями, надо иметь в виду еще следующее. Вода оказывает на почвенные алюмосиликаты (и гуматы) действие не только замещением их оснований водородным ионом; она вместе с тем частично разрушает их, переводя в более простые соединения и отчасти разлагая на простые окислы кремния, алюминия и железа. И вот это действие воды, по всем имеющимся у нас данным, значительно сильнее на алюмосиликаты и гуматы, не насыщенные основаниями, т. е. содержащие водородный катион (или, по старой терминологии,— на кислые алюмосиликаты и на свободные алюмосиликатные и гумусовые кислоты), нежели на таковые, еще не пришедшие в это состояние.

Чтобы дать некоторое представление, насколько действие воды на почву повышается, когда почва не насыщена основаниями, приведу данные анализа водной вытяжки (500 *см*^{3} воды воздействовали в течение 3 суток на 100 *г* почвы) из первоначального чернозема (поглощенные катионы — кальций и небольшое количество магния) и из того же чернозема, в котором все поглощенные основания предварительно были замещены водородом.

Водная вытяжка извлекла (в процентах от веса почвы):

Почва	Сухой остаток		SiO_2	Al_2O_3 + + Fe_2O_3	CaO	Гумус (титрованием)
	просушенный	прокаленный				
Почва первоначальная	0,0575	0,0195	0,0095	0	0,0107	0,0360
Почва, насыщенная H	0,1140	0,0504	0,0430	0,0055	0	0,0605

Поэтому параллельно с возникновением в почвах под влиянием действия воды нерастворимых соединений, содержащих водородный катион, начинает проявляться и усиленное разрушение их водою, промывающей почву; почва лишается таким образом не только оснований, но и этих сложных минеральных соединений, распадающихся на кремнекислоту и гидраты окисей алюминия и железа, и коллоидально растворяющегося гумуса. Таким образом, процессы деградации и оподзоливания ведут, с одной стороны, к образованию в почвах, не насыщенных основаниями, нерастворимых соединений, а с другой стороны, к их распаду; почва таким образом постепенно обедняется наиболее деятельной своей частью (наиболее деятельной потому, что таковой является наиболее распыленная, наиболее коллоидальная, с наибольшей степенью дисперсности часть ее, и именно эта-то часть наиболее сильно подвергается действию водородного катиона воды и дальнейшему разрушительному действию воды); поглощающий комплекс ее постепенно уменьшается, а остающаяся его часть оказывается в той или иной степени ненасыщенной основаниями.

Естественно, что наибольшее количество водородного катиона, наибольшую степень ненасыщенности почв основаниями можно встретить в сильно увлажняемых областях, т. е. в подзолистой и латеритной зонах, причем в последней она может проявляться не так сильно, как в подзолистой, вследствие того, что там распад ненасыщенных алюмосиликатов идет значительно энергичнее, нежели в подзолистой области. Но ненасыщенные почвы мы встречаем и среди более сухих почв, например, среди деградированных и даже очень слабо деградированных черноземов.

Таким образом, процесс деградации почв, насыщенных кальцием и магнием, и вообще процесс оподзоливания мы мыслим себе следующим образом. Прежде всего почва (или горная порода, если этот процесс происходит уже с самого начала почвообразования) должна быть подготовлена для возникновения этого процесса. Эта *подготовительная* к процессу оподзоливания *стадия* заключается в выщелачивании из почвы на достаточную глубину атмосферными осадками простых солей; почва для начала процесса оподзоливания не должна в своем почвенном растворе содержать сколько-нибудь заметных количеств простых солей. Когда почва достигнет такой стадии, в ней возникает процесс разрушения, носящий название в таежной зоне процесса оподзоливания.

Самый процесс оподзоливания состоит из двух стадий.

1-я стадия. Водородный ион воды замещает поглощенные основания в поглощающем комплексе, не защищаемом уже от его проникновения туда простыми солями вследствие их недостаточного для этого количества.

2-я стадия. Образовавшаяся ненасыщенная основаниями часть поглощающего комплекса начинает усиленно разрушаться водой; гуматы, распыляясь, уносятся вниз как таковые, а алюмосиликатная часть ненасыщенного основаниями поглощающего комплекса разлагается водой на составляющие ее окиси кремния, алюминия и железа.

По той же схеме процесса оподзоливания почвы, который по существу своему в отношении алюмосиликатной части почвенного поглощающего

комплекса есть процесс разрушения, химического выветривания составляющих этот комплекс минералов, идет и химическое выветривание любых минералов под действием воды, т. е. главного фактора химического выветривания земной коры. Для пояснения мы здесь дадим схему выветривания простого и сложного силикатов.

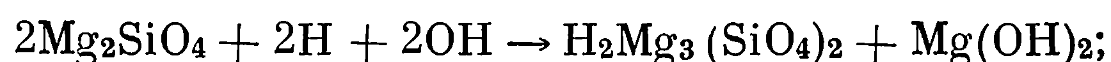
1. Простые силикаты. Обозначим анион простого силиката — Si, а катион — M; тогда действие воды на частичку такого силиката можно представить схематично так:



$$(Si)\,M + H + OH + H_2O \rightarrow (Si)\,H + M + OH + H_2O.$$

На поверхности частички силиката молекулы (Si) M будут постепенно под действием воды переходить в молекулы соответствующей этому силикату кремневой кислоты; эта кремневая кислота, обезвоживаясь, будет давать аморфную кремнекислоту SiO_2. Так как кремневые кислоты многовалентны, то между начальным соединением (Si) M и конечным продуктом распада SiO_2 может быть много промежуточных продуктов распада.

Пример. Схема выветривания силиката ортокремневой кислоты Mg_2SiO_4 (форстерит):



$$2Mg_2SiO_4 + 2H + 2OH \rightarrow H_2Mg_3(SiO_4)_2 + Mg(OH)_2;$$

на этой стадии выветривания получается промежуточный продукт $H_2Mg_3(SiO_4)_2$ — змеевик, который будет дальше терять свой магний, заменяя его на водород, пока не получится конечная, устойчивая в наших термодинамических условиях кремнекислота.

Пример. Схема выветривания силиката метакремневой кислоты $MgSiO_3$ (энстатит):



$$4MgSiO_3 + 2H + 2OH \rightarrow H_2Mg_3(SiO_3)_4 + 2Mg(OH)_2.$$

Получается промежуточный продукт выветривания: $H_2Mg_3(SiO_3)_4$ — тальк.

2. Сложные силикаты. Обозначим схематично анион сложного силиката (ферриалюмосиликата) символом (Si, Al, Fe,), а катион — M; тогда схему действия воды на сложный силикат вообще можно представить таким образом:



$$(Si, Al, Fe)\,M + H + OH + H_2O \rightarrow (Si, Al, Fe)\,H + M + OH + H_2O;$$

в молекулах на поверхности зерен сложных силикатов металл будет постепенно заменяться водородом, и они из молекул соли будут переходить через ряд возможных кислых солей в молекулы свободной ферриалюмосиликатной кислоты, соответствующей кислоте взятого силиката; ввиду сложности аниона этих силикатов и вследствие малой устойчивости аниона кислых солей и свободных кислот этого типа получившееся в первой части уравнения соединение (Si, Al, Fe) H, т. е. ферриалюмосиликатная (или ферриалюмокремневая) кислота, не будет еще конечным продуктом действия воды; кислота эта будет распадаться под действием воды, давая в конечной стадии распада гидроокиси железа и алюминия и кремнекис-

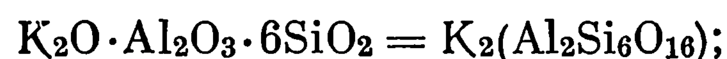
лоту по схеме:



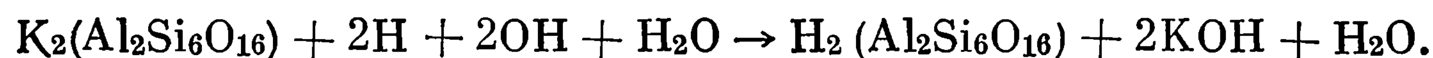
$$(Si, Al, Fe)\,H + H_2O \rightarrow SiO_2 + Al(OH)_3 + Fe(OH)_3.$$

Распад аниона сложного силиката может начинаться еще до полного замещения в молекуле его катиона водородом.

Пример. Схема выветривания сложного силиката ортоклаза.

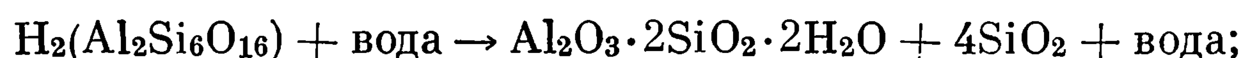


$$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 = K_2(Al_2Si_6O_{16});$$



$$K_2(Al_2Si_6O_{16}) + 2H + 2OH + H_2O \rightarrow H_2\,(Al_2Si_6O_{16}) + 2KOH + H_2O.$$

Полученная алюмокремневая кислота $H_2(Al_2Si_6O_{16})$ при дальнейшем действии воды присоединяет к себе одну частичку воды и отщепляет от себя $4SiO_2$:



$$H_2(Al_2Si_6O_{16}) + \text{вода} \rightarrow Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O + 4SiO_2 + \text{вода};$$

получается соединение $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ — каолин, который в дальнейшем под действием воды распадается на конечные и устойчивые продукты $Al(OH)_3$ и SiO_2:



$$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O + \text{вода} \rightarrow Al(OH)_3 + 2SiO_2 + \text{вода}.$$

В заключение вопроса о почвах, не насыщенных основаниями, мы приведем состав поглощенных катионов в почве, насыщенной кальцием и магнием (черноземный тип почвообразования), и в почвах, не насыщенных основаниями (подзолистый и латеритный типы почвообразования).

1. Черноземный тип почвообразования

Состав поглощенных катионов в черноземе Бугульминского уезда

(из коллекции С. С. Неуструева, № 53. Анализ принадлежит Е. Н. Ивановой)

Горизонты, глубина, *см*	Процентное содержание в почве поглощенных катионов		Содержание в почве поглощенных катионов, *мг-экв*		Емкость поглощения, *мг-экв*	Состав погл. катионов, % от емкости	
	Ca	Mg	Ca	Mg		Ca	Mg
A 0—15	0,940	0,0828	46,5	6,8	53,3	87,2	12,8
A 15—30	0,932	0,0565	46,6	4,7	51,3	90,8	9,2
B 30—45	0,720	0,0582	36,0	5,0	41,0	88,0	12,0
B 45—60	0,694	0,0626	34,7	5,2	39,9	87,0	13,0
B 60—75	0,692	0,0643	34,6	5,4	40,0	86,5	13,5
B 75—90	0,660	0,0495	33,0	4,1	37,1	89,0	11,0
C 90—105	0,642	0,0591	32,1	4,7	36,8	87,2	12,8

2. Подзолистый тип почвообразования

Состав поглощенных катионов в торфянисто-подзолистой почве (анализ Е. Н. Ивановой)

Горизонты, глубина, *см*		Процентное содержание в почве поглощенных катионов			Содержание в почве поглощенных катионов, *мг-экв*			Емкость поглощения, *мг-экв*	Состав погл. катионов, % от емкости		
		H	Ca	Mg	H	Ca	Mg		H	Ca	Mg
A_0	0—5	0,0385	—	—	38,5	—	—	—	—	—	—
A_2	10—15	0,0095	0,033	0,0106	9,5	1,7	0,9	12,1	78,5	13,9	7,5
A_2	15—20	0,0032	0,019	0,0045	3,2	1,0	0,4	4,6	70,8	20,8	8,4
A_2	20—25	0,0007	0,014	0,0043	0,7	0,7	0,4	1,8	39,4	40,5	20,1
B	30—35	0,0003	0,042	0,0222	0,3	2,1	1,9	4,3	6,2	50,1	43,7
B	50—55	0,0004	0,118	0,0669	0,4	5,9	5,6	11,8	3,6	49,5	46,9
B	100—105	0,0005	0,135	0,0610	0,5	6,3	5,1	12,4	3,9	54,6	41,5

3. Латеритный тип почвообразования

Состав поглощенных катионов краснозема из б. Чаквинского удельного имения (анализ автора)

Горизонты, глубина, *см*		Процентное содержание в почве поглощенных катионов			Содержание в почве поглощенных катионов, *мг-экв*			Емкость поглощения, *мг-экв*	Состав погл. катионов, % от емкости		
		H	Ca	Mg	H	Ca	Mg		H	Ca	Mg
$A+A_1$	0—14	0,0114	0,040	0,050	11,4	2,0	4,2	17,6	65	11,4	23,6
B	14—45	0,0085	0,018	0,013	8,5	0,9	1,1	10,5	81	8,6	10,4
C	40—80	0,0093	0,016	0,031	9,3	0,8	2,6	12,7	74	6,3	19,7
D	95—135	0,0096	0,012	0,027	9,6	0,6	2,3	12,5	77	5,0	18,0
D	135—175	0,0082	0,010	0,026	8,2	0,5	2,2	10,9	75	5,0	20,0

ЭНЕРГИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ИЛИ ОБМЕНА

Мы видели, что при соприкосновении почвы с раствором соли какого-либо основания или со слабым раствором кислоты происходит поглощение почвой из раствора того или другого количества катиона; если почву обработать должным образом таким раствором, то взятым катионом будет насыщена вся емкость поглощения данной почвы, и количество поглощенного тогда катиона будет для данной почвы величиной постоянной, равной емкости поглощения; в этом отношении все катионы, в том числе и водород, равнозначны.

Спрашивается теперь, что будет, если обработку почвы не доводить до конца, если, например, взять одинаковые навески одной и той же почвы,

приготовить растворы солей различных катионов, но одинаковой нормальности, и каждую навеску почвы обработать всего один раз каким-либо из этих растворов? Вытеснят ли взятые катионы из почвы в этих равных условиях одинаковые или неодинаковые количества поглощенных оснований, или иначе, поглотятся ли они почвою в количествах, эквивалентных между собою, или нет? В опыте по этому вопросу лучше определять не то, что поглотилось, исчезло из раствора, а то, что выделилось в раствор; последнее будет по самому способу определения более точным, так как определение того, что исчезло из раствора, приходится производить по разности (зная, какова была, например, концентрация иона аммония до воздействия на почву и после воздействия, по разности определяют количество поглощенного аммония); такое определение всегда менее точно прямого, непосредственного определения.

Кроме того, для простоты и большей точности для разрешения поставленного вопроса лучше оперировать с почвой, содержащей только одно поглощенное основание; такую почву приходится предварительно приготовить обработкой взятой естественной почвы раствором соответствующей соли до полного вытеснения всех почвенных поглощенных оснований и замены их взятым катионом и с полным удалением из этой почвы остатков этой соли промыванием почвы водою.

Мы приведем по поставленному выше вопросу результаты однократной обработки почвы, насыщенной предварительно барием, растворами различных хлоридов 0,1 н. концентрации (10 *г* почвы обрабатывались двое суток 100 *см*³ соответствующего раствора); так как взятая почва содержала в своем поглощающем комплексе лишь один катион Ba, то, определив количество его, вытесненное катионом того или другого раствора, мы можем вместе с тем узнать и количество поглощенного из раствора катиона, помножив вытесненное количество Ba на атомный вес поглощенного катиона и разделив на атомный вес бария.

Вот результаты исследования:

Из почвы, насыщенной барием, вытеснено Ba

Ba вытеснено	В процентах от веса почвы	В *мг-экв* на 100 *г* почвы	Ba вытеснено	В процентах от веса почвы	В *мг-экв* на 100 *г* почвы
Однозначными катионами			Двузначными катионами		
литием	0,522	3,8	магнием	1,058	7,7
аммонием	0,886	6,5	кальцием	1,400	10,2
натрием	0,625	4,5	кадмием	1,505	11,0
калием	0,932	6,8	кобальтом	1,545	11,3
рубидием	1,062	7,8	Трехзначными катионами		
			алюминием	2,291	16,7
			железом	2,492	18,7

Таблица показывает, что различные катионы, взятые в одной и той же концентрации и при совершенно одинаковых условиях, вытесняют из почвы очень различные количества поглощенного бария; так как при вытеснении поглощалось эквивалентное количество вытесняющего катиона, то легко видеть, что количества поглощавшихся в этом опыте лития, аммония, калия, рубидия и т. д. в миллиграмм-эквивалентах будут те же, что и вытесненного бария, а потому приведенная таблица показывает также, что количества различных катионов (в эквивалентах), поглощаемые одной и той же почвою из одинаково нормальных растворов хлоридов, очень неодинаковы; называя эти количества энергией поглощения почвою данного катиона (или энергией обмена), можно сказать, что энергия поглощения различных катионов, или энергия, с которой различные катионы вытесняют из почвы ее поглощенные основания, очень неодинакова; если всмотреться внимательно в таблицу, где соли расположены по значимости их катионов, а в каждой группе одинаково значных — по возрастающему атомному весу катионов, то легко заметить, что величина энергии поглощения (или вытеснения) есть функция значности катиона и его атомного веса: с повышением того или другого она возрастает; так, для катионов однозначных мы имеем:

	Атомный вес	Вытеснено Ba		Атомный вес	Вытеснено Ba
Литий	7	0,522	Калий	39	0,932
Аммоний	18	0,886	Рубидий	85	1,062
Натрий	23	0,625			

т. е. *с увеличением атомного веса однозначных катионов возрастает их энергия поглощения*: только один аммоний нарушает эту законность, занимая по своей энергии третье место, а по атомному весу — второе. *Та же законность видна и для катионов двузначных и, наконец, для катионов трехзначных. Вместе с тем, энергия поглощения возрастает с повышением значности катионов*; так, натрий, магний и алюминий, имеющие очень близкие атомные веса, сильно разнятся по своей энергии поглощения; у однозначного натрия она наименьшая, у двузначного магния значительно больше, а у трехзначного алюминия — самая большая.

Чтобы показать, что приведенная законность в отношении величины энергии поглощения имеет место не только при вытеснении поглощенного бария, но и вообще, независимо от состава почвенных поглощенных оснований, приведем еще результат вытеснения кальция из почвы, насыщенной кальцием. 10 *г* почвы обрабатывались 100 *см*^{3} раствора одной из нижеследующих солей в концентрации 0,01 н.

Вытеснено Ca (в процентах) из почвы, насыщенной кальцием:

Хлористым	литием	0,032	Хлористым	рубидием	0,113
»	аммонием	0,114	»	магнием	0,104
»	натрием	0,037	»	кобальтом	0,136
»	калием	0,101	»	алюминием	0,152

Мы видим, что и в отношении энергии вытеснения Са различные катионы располагаются в том же порядке, как и в отношении вытеснения Ва; только аммоний здесь оказался с большей немного энергией, чем калий, тогда как в предшествующем опыте было наоборот; вообще в наших исследованиях относительно К и NH_4 наблюдалась часто подобная же картина.

Очень существенно знать сравнительную энергию поглощения водородного иона, так как этот ион играет большую роль во многих почвенных процессах, например, как наиболее существенный агент химического выветривания горных пород и почв, где его роль часто противоположна роли металлических катионов. Энергия эта видна из нижеследующих данных, где приведены результаты взаимодействия между черноземом, все поглощенные основания которого были предварительно замещены барием, и 0,01 н. растворами хлористого натра, хлористого кальция и соляной кислоты (10 *г* почвы в течение 2 суток обрабатывались 100 *см*^{3} соответствующего раствора).

Вытеснено бария в процентах от веса почвы:

Хлористым натрием	0,041
» кальцием	0,165
Соляной кислотой	0,706

Таким образом, в условиях описанного опыта энергия поглощения (или вытесняющая способность) у водородного катиона раз в 17 больше, чем у натрия, и раза в 4 больше, чем у кальция.

В процессах взаимодействия между веществами, растворенными в почвенном растворе, и твердой фазой почвенной системы, в которых главенствующее место принадлежит поглотительной способности вообще и в частности физико-химической, особое значение выпадает на катионы водорода, натрия, калия, магния и кальция; эти элементы содержатся и в твердой фазе, и в том или ином количестве в виде катионов в почвенном растворе; другие основные элементы — железо и алюминий — нормально в почвенном растворе в виде катионов не существуют; там они находятся в виде коллоидально распыленных гидратов окисей.

Из перечисленных пяти элементов, находящихся в жидкой фазе почвы в виде катионов, наибольшей энергией поглощения обладает водород; при одинаковой концентрации с остальными он способен в наибольшем количестве переходить из раствора в цеолитную (и гуматную) часть почвы, сильнее всех остальных будет вытеснять из этой части другие почвенные поглощенные основания и обратно, прочнее всех остальных поглощенных оснований удерживаться почвою и не поддаваться вытеснительному действию других катионов. Но концентрация водородного иона в почвенном растворе, вообще говоря, очень мала, значительно более низка, нежели других, менее энергичных катионов, поэтому реально проявиться его большая энергия поглощения может лишь при особо благоприятных условиях, а именно, как мы видели выше, при рассмотрении почв, не насыщенных основаниями, тогда, когда почвенный раствор обед-

нится уже другими катионами и когда количество воздействующей на почву воды велико; но и тогда, вследствие большой неустойчивости соединений почвенного поглощающего комплекса, содержащих водородный катион, он не может накопляться в твердой фазе почвы в более или менее значительных количествах.

Следующим по величине энергии поглощения является катион кальция; его способность как катиона почвенного раствора вытеснять другие почвенные поглощенные катионы, его сопротивляемость как поглощенного катиона вытеснению из поглощающего комплекса значительно превосходят таковые у натрия, калия и магния и особенно у первых двух. Часто встречающееся в учебниках почвоведения и в различных статьях указание, что энергия, с которой поглощается кальций почвами, мала по сравнению с энергией поглощения элементов первой группы, основано на недоразумении: об энергии судили по количеству поглощаемого почвою кальция, аммония и т. д., а так как почвы нормально содержат уже сами по себе очень много поглощенного кальция, а аммония почти вовсе не содержат, калия же и натрия если содержат, то лишь следы, то понятно, что при таком испытании именно кальция и поглотиться меньше, чем тех катионов, которых еще нет в почве.

Вышеприведенные исследования, правильно поставленные, определенно говорят, что именно кальций занимает в рассматриваемом отношении после водорода первое место. Да и самый факт большого содержания катиона кальция в поглощающем комплексе, значительно большего, чем магния, и факт полного или почти полного отсутствия в этой части незасоленных и несолонцеватых почв катионов калия и натрия, говорят о большей энергии поглощения кальция, нежели означенных катионов.

Именно вследствие того, что среди почвенных поглощенных оснований и среди металлических катионов почвенного раствора катион кальция обладает наивысшей энергией поглощения (а также благодаря трудной растворимости, а потому присутствию во многих почвах карбоната кальция), в поглощающем комплексе почвы кальций сохраняется дольше всех поглощенных катионов. В то время как поглощенного магния, катиона со значительно меньшей энергией поглощения, в почвах сравнительно немного (всего около 20%), а поглощенные калий и натрий почти вовсе удалены, выщелочены из нормальных почв, кальция мы находим в поглощающем комплексе до 80% от суммы всех поглощенных оснований, т. е. поглощенные основания насыщенных почв состоят почти исключительно из одного только этого катиона. В почвах нормальных, незасоленных, в достаточной степени уже выщелоченных, единственным конкурентом кальция в поглощающем комплексе может быть водородный катион, благодаря его очень высокой энергии поглощения; и мы действительно видим, что дальнейшая стадия почвообразовательного процесса в таких выщелоченных уже почвах сопровождается постепенным вытеснением кальция водородом с образованием почв, не насыщенных основаниями.

ПОЧВЫ, СОДЕРЖАЩИЕ В СВОЕМ ПОГЛОЩАЮЩЕМ КОМПЛЕКСЕ ПОГЛОЩЕННЫЙ НАТРИЙ

Иначе слагается состав поглощенных оснований в тех почвах, которые почему-либо засоляются легко растворимыми солями. Из таких солей в почвах констатировано присутствие натриевых, магниевых и кальциевых. Такие засоленные почвы носят название солончаковых; эти почвы, если в них содержатся только натриевые соли или количество этих солей в них значительно преобладает над другими, мы будем называть натриевыми солончаковыми почвами; соответственно будем иметь магниевые солончаковые почвы, кальциевые солончаковые почвы. Если такие почвы содержат смесь солей различных катионов, то они получают соответствующее обозначение: натриево-кальциевых или кальциево-натриевых и т. д.

Из всего ранее изложенного должно быть вполне ясно, что присутствие в почвенном растворе более или менее заметных количеств какой-либо или каких-либо солей (почвенные растворы всех почв содержат и натриевые, и кальциевые и т. д. соли, но в обычных почвах в заметных количествах имеются только кальциевые соли) должно наложить определенный отпечаток не только на жидкой фазе почвы, но и на твердой ее части; вследствие физико-химической поглотительной способности почвы химический состав, а значит, и химические свойства твердой фазы почвы (оказывается, что даже в сильной степени и физические и механические свойства) находятся в тесной зависимости от состава почвенного раствора.

В натриевых солончаковых почвах в поглощающем комплексе непременно будет содержаться поглощенный натрий, отсутствующий в почвах незасоленных или засоленных солями других оснований; количество его там будет зависеть от емкости поглощения этой почвы и от концентрации солей натрия в почвенном растворе. В магниевых солончаковых почвах поглощающий комплекс будет богаче магнием, нежели в почвах обычных, а в кальциевых солончаковых почвах он будет обогащен кальцием. При известных условиях солончаковые почвы могут даже содержать в поглощающем комплексе один только поглощенный катион; натриевые солончаки — только поглощенный натрий, кальциевые — только поглощенный кальций, магниевые — только поглощенный магний.

Если мы теперь представим себе, что засолившаяся, например, натриевыми солями почва по каким-либо причинам вновь рассолится, лишится прежнего избытка легко растворимых солей, то такая почва все-таки не вернется уже к своему первоначальному, бывшему до засоления состоянию; она будет теперь существенно отличаться, так как в поглощающем комплексе ее и после удаления из почвенного раствора избытка натриевых солей будет содержаться в том или другом количестве поглощенный натрий; такая незасоленная уже почва или засоленная в значительно меньшей степени, чем раньше, по многим своим свойствам будет резко отличаться от той же почвы до ее засоления, а также в

самом периоде засоления; такие почвы, получившиеся после рассоления чистых натриевых солончаковых почв или смешанных натриево-магниевых и натриево-кальциевых (но с заметным преобладанием натриевых солей), носят название солонцеватых почв, а резко выраженные их представители называются солонцами, процесс же их образования может быть назван осолонцеванием.

Там, где климатические условия почвы слагаются так, что, с одной стороны, влаги, поступающей в почву, достаточно для удаления легко растворимых солей на такую глубину, что они не могут уже капиллярно подниматься в почвенные горизонты, а, с другой стороны, влаги этой недостаточно чтобы так же глубоко вымыть трудно растворимые углесоли кальция и магния,—там мы имеем почвы, насыщенные основаниями, и именно кальцием и магнием, т. е. черноземный тип почвообразования. На север от почвенной зоны (черноземной) с такими климатическими условиями мы переходим постепенно через подзоны выщелоченного и деградированного чернозема в зону подзолистую, где климатические условия уже таковы, что влаги достаточно не только для удаления на достаточную глубину легко растворимых простых солей, но и трудно растворимых углесолей кальция и магния. К югу же от черноземной зоны мы постепенно переходим в области с климатом, все более и более засушливым.

Уменьшение степени увлажнения почвы, понижая вымываемость легко растворимых солей и щелочноземельных карбонатов, постепенно повышает горизонт их скоплений в грунтах и почвенных слоях; постепенно, с увеличением засушливости климата почвы, увеличивается количество в почве как тех, так и других солей; но так как предельная растворимость щелочноземельных карбонатов (концентрация насыщенных их растворов в почвенной влаге при наивысшем возможном содержании в ней углекислоты) сравнительно очень мала, то, несмотря на высокую энергию поглощения (вытеснения) почвою кальция, должен наступить при движении на юго-восток от почв, насыщенных только кальцием и магнием, такой момент, когда катионы значительно более растворимых солей щелочных металлов могут уже конкурировать с катионами кальция и магния за свое место в поглощающем комплексе почвы. Когда степень увлажнения почвы достигает такой величины, мы вступаем в область, в которой почвы в своем поглощающем комплексе могут содержать уже кроме кальция и магния и щелочные катионы.

То же явление — появление щелочных катионов в поглощающем почвенном комплексе — может обусловливаться при известной степени засушливости климата и обратной причиной, а именно тем, что в том или другом пониженном месте (в котловинке, в западине) создаются условия временного избыточного (по сравнению с окружающим пространством) увлажнения; в этом случае может получиться такая концентрация щелочных катионов в почвенном растворе, при которой они смогут вступать в поглощающий комплекс почвы; тогда как в почвах, окружающих такое место, их или не будет там вовсе, или же содержание их

будет заметно ниже. Такие благоприятные условия для вступления щелочных катионов в поглощающий почвенный комплекс пониженных мест могут сложиться как вследствие того, что стекающие с более повышенных мест воды будут приносить сюда продукты выветривания почвы этих мест, что при достаточно сильном испарении может вызвать необходимое для вступления щелочных катионов в поглощающий комплекс повышения их концентрации, так и вследствие того, что скопляющаяся здесь вода будет обусловливать более глубокое промачивание почвы и вызывать при высыхании капиллярное поднятие солей из нижних подпочвенных горизонтов.

Имеющиеся до настоящего времени исследования поглощенных оснований в почвах засушливых мест показывают, что, вообще говоря, поглощенного калия в них или вовсе нет, или количество его совершенно ничтожно по сравнению с содержащимися в почве количествами поглощенного натрия. Таким образом, по каким-то непонятным еще причинам засоления засушливых почв калийными простыми солями в общем не наблюдается, а потому не наблюдается и образования там почв с поглощенным калием в поглощающем их комплексе.

Таким образом, двигаясь от зоны чернозема на юго-восток, мы постепенно через подзоны обыкновенного и южного чернозема вступаем в область почв солонцового типа почвообразования, т. е. в область засоленных[1] и солонцеватых почв. Для иллюстрации приведу состав поглощенных катионов в одном образце солонца.

Состав поглощенных катионов в солонце б. Челябинского уезда

(анализ принадлежит Е. Н. Ивановой)

Горизонт	Процентное содержание в почве поглощенных катионов			Содержание в почве поглощенных катионов, *мг-экв*			Емкость поглощения, *мг-экв*	Состав погл. катионов, % от емкости		
	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na		Ca	Mg	Na
0—5	0,5400	0,2432	0,0872	27,00	20,75	3,79	51,06	52,9	39,7	7,4
5—10	0,4550	0,1994	0,0997	22,75	16,72	4,33	43,70	52,1	38,0	9,9
10—24	0,2110	0,3843	0,2877	10,55	32,03	12,51	55,09	19,2	58,1	22,7
24—27	0,2770	0,4778	0,3573	13,85	39,82	15,54	69,21	20,0	57,5	22,5
40—45	—	—	0,3714	—	—	16,15	34,64	—	—	—
60—65	—	—	0,3014	—	—	13,10	29,95	—	—	—
105—110	—	—	0,1586	—	—	6,90	42,66	—	—	—

[1] В настоящее время засоленные почвы относятся к особому типу. Кроме того, солонцеватыми могут быть почвы разных типов (черноземные, каштановые и др.), обладающие некоторыми особыми свойствами, обязанными своим происхождением наличию небольшого содержания обменного Na^+ в составе обменных катионов. К. К. Гедройц в данном случае имеет в виду по преимуществу собственно солонцы.— *Прим. ред.*

Присутствие в поглощающем комплексе почвы поглощенного натрия накладывает на солонцеватые почвы и солонцы особый отпечаток; эти почвы резко отличаются от всех остальных почв как по своим химическим, так и по физическим свойствам; о последних мы будем говорить подробно ниже, в главе о поглощающем почвенном комплексе и зависимости его свойств от состава поглощенных катионов в нем. Теперь же мы остановимся на особенно характерном свойстве солонцов образовывать при взаимодействии с водой соду — свойстве, непосредственно связанном с обменной поглотительной способностью почвы.

ОБРАЗОВАНИЕ СОДЫ В ПОЧВАХ

Мы здесь отдельно рассмотрим образование соды в солонцеватых почвах, содержащих углекислый кальций и не содержащих его.

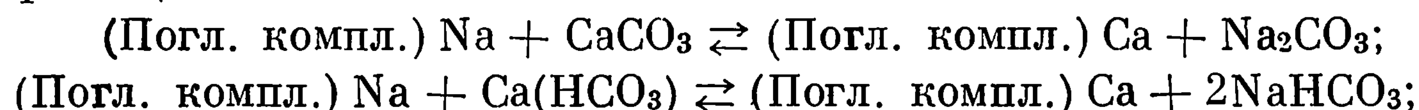
1. **Почва содержит $CaCO_3$.** Предположим, что засолению натриевыми солями подвергалась почва, содержащая углекислый кальций, или тот или другой ее горизонт, содержащий $CaCO_3$; почвенный раствор такой почвы (или горизонта такой почвы) будет тогда содержать и ионы кальция, и ионы натрия; если засоление заметное и концентрация натриевых солей в почвенном растворе достаточно высока*, то присутствие в растворе иона Ca не помешает иону натрия вступить в поглощающий комплекс такой почвы, вытеснив оттуда поглощенные кальций и магний, так как концентрация иона кальция в почвенном растворе не может быть очень высокой вследствие малой растворимости $CaCO_3$. Если вследствие каких-либо причин произойдет рассоление такой засоленной

---

* Нужно иметь в виду, что для образования солонцеватых почв даже с очень высоким содержанием поглощенного натрия вовсе нет необходимости высокой концентрации натриевых солей в почвенном растворе. Необходимо только, чтобы эта концентрация была такой высоты, чтобы присутствующий в почвенном растворе катион кальция не мешал вступлению натрия в поглощающий комплекс. Если почва содержит гипс, то концентрация кальция иона в таких почвах может достигать около 3 *мг-экв* Ca в 100 $см^3$ почвенного раствора; чтобы натрий в этих условиях мог вытеснять кальций из поглощающего комплекса, его концентрация должна быть выше, например 10—15 *мг-экв* на 100 $см^3$ почвенного раствора, или, считая полную влагоемкость почвы в 40%, почва должна содержать 0,24—0,35% NaCl. Если почва содержит из кальциевых солей только углекислый кальций, то концентрация иона натрия в почвенном растворе может быть уже значительно ниже и натрий будет вступать все-таки в поглощающий комплекс. В таких почвах концентрация кальция в почвенном растворе может достигать не больше 0,02 *г* Ca в 100 $см^3$ раствора, или 1 *мг-экв* на 100 $см^3$ почвенного раствора; концентрация же натрия должна быть в этом случае 4—6 *мг-экв* на 100 $см^3$ раствора, или, считая влажность почвы в 40%, почва должна содержать уже всего 0,1—0,14% хлористого натра. Еще значительно меньше может быть засоление почвы хлористым или сернокислым натром для возможности проникновения натрия в поглощающий почвенный комплекс тогда, когда почва не содержит ни гипса, ни углекислого кальция. Но для того, чтобы при этих предельных концентрациях солей натрия могли возникать почвы с большим содержанием поглощенного натрия, необходимо одно условие, а именно: почвы должны периодически засоляться и периодически рассоляться для удаления продуктов обмена.

почвы, мы получим почву солонцеватую (или солонцеватый горизонт), содержащую в поглощающем комплексе большее или меньшее количество поглощенного натрия, а кроме того, такая почва будет содержать и углекислый кальций.

Пока концентрация натриевых солей в почвенном растворе была достаточно высока, ион кальция вследствие малой концентрации его в растворе не мог препятствовать иону натрия вступать в поглощающий комплекс, несмотря на то, что энергия поглощения кальция значительно выше, чем натрия; ион кальция в этих условиях не мог конкурировать с ионом натрия, не мог вытеснять его обратно из поглощающего комплекса почвы; но как только натриевые соли исчезли из почвы или концентрация их понизилась ниже определенной величины, ион кальция почвенного раствора вступает в свои права и начинает вытеснять поглощенный натрий из почвы, вступая туда вместо него; в результате обменной реакции:



$$\text{(Погл. компл.) Na} + CaCO_3 \rightleftarrows \text{(Погл. компл.) Ca} + Na_2CO_3;$$
$$\text{(Погл. компл.) Na} + Ca(HCO_3) \rightleftarrows \text{(Погл. компл.) Ca} + 2NaHCO_3;$$

в почвенном растворе получается некоторое количество нормальной и двууглекислой соды. Действительно, солонцеватые почвы и солонцы, содержащие углекислый кальций, всегда содержат значительное количество соды.

> Сода в почвах образуется тогда, когда почвы содержат поглощенный натрий, т. е. когда они солонцеваты, и содержат углекислый кальций; образуется она вследствие двойного обмена основаниями между поглощающим комплексом почвы и углекислым кальцием.

Чем почва богаче будет поглощенным натрием и чем выше концентрация иона кальция в почвенном растворе (т. е. чем больше в почвенном растворе углекислоты), тем больше будет получаться в почве соды; при данном содержании в почве поглощенного натрия и при данной концентрации иона кальция в почвенном растворе количество образовавшейся соды будет величиной вполне определенной; реакция обмена вследствие накопления в растворе одного из его продуктов — соды, препятствующей ее ходу, вызывающей обратное замещение, быстро прекращается; но если образующуюся соду удалять из сферы обмена, например промыванием почвы водою, то будет образовываться новое количество соды, и эта реакция образования все новых и новых количеств соды будет идти при промывании почвы до тех пор, пока не будет вытеснен из почвы весь поглощенный натрий. Вот почему солонцеватые почвы ведут себя в отношении последовательных водных вытяжек иначе, чем солончаковые почвы.

Если из солончаковой почвы, содержащей большое количество, например, хлористого натра, сделать водную вытяжку и отфильтровать жидкость, то в фильтрат перейдет почти весь содержащийся в почве хлористый натр; в почве на фильтре останется лишь то количество,

которое задержалось вместе с водою в почве; новая водная вытяжка из почвы с фильтра будет содержать уже значительно меньше NaCl, следующая еще меньше и т. д. Не то в отношении соды: первая водная вытяжка из солонца, содержащего углекислый кальций, удалит из почвы бо́льшую часть имевшейся там соды (так как растворимость $CaCO_3$ и в присутствии CO_2 сравнительно мала, то количество соды в почве вообще невысоко); но вместо этого количества образуется вновь примерно такое же количество соды, и потому вторая вытяжка из почвы с фильтра даст нам примерно такое же количество соды, что и первая; то же самое будет и при третьей последовательной вытяжке и т. д. (предполагается, что все эти вытяжки производятся одинаковыми количествами воды); поэтому вымыть соду из солонцеватой почвы нельзя, не удалив из нее весь поглощенный натрий.

В почве, содержащей поглощенный натрий и углекислый кальций, присутствие в почвенном растворе какой-либо соли натрия (например хлористого натра) должно препятствовать образованию соды, так как в подобной системе



$$(\text{Погл. компл.})\,Na + CaCO_3 + NaCl$$

в почвенном растворе уже имеются ионы натрия, которые будут стремиться в свою очередь вытеснять из поглощающего комплекса тот кальций, который вступил бы туда из углекислого кальция. При достаточно высокой концентрации соли натрия в растворе кальций вовсе не сможет вступать в поглощенный комплекс, реакции обмена не произойдет, и сода не образуется; при более низких концентрациях солей натра сода будет образовываться, но в количестве пониженном; таким образом, чем больше в почве, содержащей поглощенный натрий и углекислый кальций, натриевых солей, тем меньше в ней соды. Этим объясняется тот факт, что в солончаках, богатых хлористым натром и содержащих $CaCO_3$, соды нет или ее очень мало и что между содержанием в почвах соды и хлористого натра замечается в природе обратная зависимость.

2. **Почва не содержит $CaCO_3$.** Если мы имеем почву, содержащую поглощенный натрий и не содержащую углекислого кальция, т. е. бескарбонатный солонец, то сода в такой почве также будет образовываться благодаря действию воды на поглощенный почвенный комплекс: водородный ион воды будет вытеснять натрий из поглощающего комплекса, будет получаться едкий натрий, который вследствие присутствия в почвенном воздухе и растворе углекислоты будет переходить в соду. Конечно, такие бескарбонатные солонцы будут при одинаковых прочих условиях содержать всегда в своем почвенном растворе меньше соды, чем такие же во всех остальных отношениях карбонатные солонцы.

Влияние присутствия простых солей натрия ($NaCl$, Na_2SO_4) в почве, содержащей поглощенный натрий (натриевые солончаки), на образование соды. Когда почва, поглощающий комплекс которой содержит поглощенный натрий, в достаточной степени засолена хлористым или сернокислым натрием,

то будет ли она карбонатной или бескарбонатной— безразлично, в ней соды не образуется, так как в этом случае катион натрия почвенного раствора препятствует катиону кальция и иону водорода почвенного раствора вследствие низкой их концентрации в растворе вытеснять натрий из поглощающего комплекса. Такие засоленные почвы носят название чистых солончаков. Если почва с поглощенным натрием вовсе не содержит хлоридов или сульфатов натрия, то будем иметь чистый солонец. Наконец, если почва, имеющая поглощенный натрий в своем поглощающем комплексе, вместе с тем содержит хлориды в сульфаты натрия, но в количестве, не достаточном для того, чтобы полностью воспрепятствовать образованию соды, и таким образом содержит и соду и хлориды (и сульфаты), то такая почва называется солончак-солонец.

Изложенная выше теория, объясняющая генезис солонцовых почв и все их особые свойства, а в частности, происхождение соды в почвенном растворе этого типа почв, была развита и опубликована мною в 1912 г. на основании исследования природных солончаков и солонцов и непосредственных опытов получения этих почв из почв нормальных; затем эта теория вошла как часть в разработанную мною общую теорию физико-химической, или обменной поглотительной способности почвы как прямое следствие из этого учения. Как эта общая теория, так и мое учение о солонцах подтвердились затем работами ряда других исследователей. В последнее время мы имеем довольно много работ опытных учреждений САСШ (где вопрос о солончаках и солонцах имеет существенное практическое значение), произведенных с точки зрения моей теории и целиком подтверждающих эту теорию и повторяющих мои результаты. В нижеследующем мы приведем некоторые из результатов изучения солонцов, полученных опытной станцией штата Аризона *.

Существует другая теория образования в почвах соды, теория американского почвоведа Гильгарда; по этой теории сода является результатом взаимообмена основаниями хлористого и сернокислого натрия и углекислого кальция в присутствии углекислоты **. Теория эта упускает совершенно поглощение почвою натрия из хлористого и сернокислого натрия и образование в ней соединений с поглощенным натрием, гораздо более энергичных и естественных источников натрия, нежели хлористый или сернокислый натрий, для обменной реакции с кальцием уг-

---

* *J. F. Breazeale a. W. F. T. McGeorge.* Sodium Hydroxide rather than sodium carbonate the source of alkalinity in Black Alkali Soils.— Arizona Agric. Exp. Station. Techn. Bull. N 13, 1926.

** Интересно отметить следующий факт. Если через карбонатный солонец, слабо засоленный хлористым натрием и взболтанный с водой, пропускать достаточное время ток углекислоты, то начиная с некоторого отношения между количеством воды и почвы и выше, можно нацело вытеснить поглощенный натрий. Анализ раствора показывает, что тогда количество соды в точности соответствует количеству поглощенного натрия, а это указывает на то, что даже при очень больших количествах свободной углекислоты в почвенном растворе $CaCO_3$ и NaCl не образуют соду.

лекислого кальция. Теория эта, кроме того, противоречит наблюдающимся явлениям в солонцовых почвах, явлениям, причиной которых непосредственно является, как мною было показано, основное свойство солонцов, а именно то, что солонцовая почва есть почва, содержащая поглощенный натрий. Из этих явлений, опровергающих теорию Гильгарда, мы остановимся на трех.

1. Повышение содержания в почве растворимых натриевых солей не повышает в почве количества содержащейся соды, как это следовало бы по теории Гильгарда, а в действительности влияет обратно: исследование засоленных почв показывает, что, как общее правило, чем больше почва содержит хлористого и сернокислого натра, тем меньше в ней соды, а при некотором содержании этих солей в почве практически уже вовсе не образуется соды (чистый солончак). Выше мы дали объяснение этому факту с точки зрения нашей теории образования соды, а теперь приведем некоторые данные из вышеназванных исследований Аризонской опытной станции.

Слабозасоленная натриевыми солями карбонатная солонцовая почва (солонец-солончак) последовательно 14 раз промывалась водой (отношение к воде было во всех случаях равным 1:3; от каждого промывания оставалось в почве для следующего промывания 1/3 взятой воды). В таблице приведен результат этого исследования.

Анализ последовательных промывных вод в опыте со слабо засоленным солонцом
(в процентах от веса почвы)

№ последовательной вытяжки	pH	Сухой остаток	Щелочность		Cl	SO_4
			от нормальных карбонатов (в CO_3)	от двууглекислых карбонатов (в HCO_3)		
1	8,67	0,220	Следы	0,0432	0,0378	0,0474
2	9,58	0,115	0,0072	0,0216	0,0175	0,0254
3	9,48	0,108	0,0060	0,0168	0,0098	0,0088
4	9,38	0,052	0,0060	0,0168	0,0063	0,0033
5	9,32	0,048	0,0048	0,0180	0,0072	0,0029
6	9,42	0,014	0,0060	0,0180	0,0014	0
7	9,60	0,037	0,0060	0,0132	0	0
8	9,66	0,036	0,0060	0,0120	0	0
9	9,48	0,028	0,0048	0,0108	0	0
10	9,48	0,030	0,0048	0,0096	0	0
11	9,54	0,027	0,0048	0,0084	0	0
12	9,50	0,025	0,0048	0,0048	0	0
13	9,47	0,025	0,0036	0,0060	0	0
14	8,99	0,020	0,0030	0,0060	0	0

Таблица показывает, что несмотря на небольшое первоначальное содержание хлористого и сернокислого натра в исследовавшейся почве, не могущее сильно понижать выход соды, частичное удаление их первым промыванием заметно повысило и pH, и количество нормальной соды в почве; то и другое поддерживается почти на одной и той же высоте в ряде последующих промываний; констатируемое понижение щелочности от двууглекислых карбонатов надо объяснить, по-видимому, тем, что в этом исследовании они не были разделены на двууглекислую соду и двууглекислый кальций; по всей вероятности, по мере промывания почвы уменьшилось количество последнего, так как растворимость углекислого кальция повышается в присутствии $NaCl$ и Na_2SO_4. Относительно приведенного исследования надо еще иметь в виду, что последовательное промывание, усиливая образование соды вследствие вымывания хлоридов и сульфатов натрия, понижает, с другой стороны, ее образование, особенно в почвах с малой солонцеватостью (к каковым нужно отнести рассматриваемую почву), так как каждое промывание уменьшает в почве количество поглощенного натрия.

Более показательными в рассматриваемом отношении являются данные другого опыта Аризонской станции, в котором для понижения концентрации хлоридов и сульфатов натрия во взятом солонце-солончаке было применено не промывание, а смешение навески взятой почвы с нормальной, не солонцовой и не солончаковой почвой, в отношении 1 : 4.

Из первоначального солонца-солончака и из приготовленной смеси делались водные вытяжки при различном отношении почвы к воде. В нижеследующих двух таблицах мы приведем результаты этого исследования.

Анализ водных вытяжек из первоначального солонца-солончака
(в процентах от веса почвы)

Отношение между почвой и водой	Сухой остаток	Щелочность: от нормальных карбонатов (в CO_3)	Щелочность: от двууглекислых карбонатов (в HCO_3)	Cl	SO_4
1 : 50,0	4,64	0,420	0,540	0,665	1,555
1 : 25,0	4,25	0,450	0,450	0,630	1,349
1 : 10,0	4,00	0,455	0,300	0,630	1,261
1 : 5,0	3,98	0,444	0,306	0,630	1,261
1 : 2,5	3,80	0,420	0,300	0,612	1,188
1 : 1,0	3,70	0,405	0,339	0,630	1,097
1 : 0,5	3,81	0,381	0,323	0,616	1,225

Анализ водных вытяжек из солонца-солончака, разбавленного нормальной почвой
(в процентах от веса почвы)

Отношение между почвой и водой	Сухой остаток	Щелочность		Cl	SO_4
		от нормальных карбонатов (в CO_3)	от двууглекислых карбонатов (в HCO_3)		
1 : 50,0	1,12	0,150	0,240	0,140	0,245
1 : 25,0	1,12	0,150	0,150	0,140	0,232
1 : 10,0	0,99	0,120	0,084	0,140	0,256
1 : 5,0	0,94	0,084	0,102	0,133	0,257
1 : 2,5	0,87	0,066	0,093	0,122	0,257
1 : 1,0	0,82	0,040	0,113	0,126	0,271
1 : 0,5	0,77	0,025	0,100	0,133	0,266

Если считать, что из примешанной к солонцу-солончаку почвы вода не извлекала вовсе означенных в последней таблице веществ (что на самом деле будет очень близко к истине, так как по сравнению с количествами этих веществ, приведенных в первой из этих двух таблиц, вода из нормальной почвы извлекает исчезающе мало этих веществ), то, перечислив данные последней таблицы на 100 *г* солонца-солончака (умножением их на 5), получим:

Данные анализа предшествующей таблицы, перечисленные на 100 *г* солонца-солончака

Отношение между почвой и водой	Сухой остаток	Щелочность		Cl	SO_4
		от нормальных карбонатов (в CO_3)	от двууглекислых солей (в HCO_3)		
1 : 50,0	5,60	0,750	1,200	0,700	1,225
1 : 25,0	5,60	0,750	0,750	0,700	1,160
1 : 10,0	4,95	0,600	0,420	0,700	1,280
1 : 5,0	4,70	0,420	0,510	0,665	1,285
1 : 2,5	4,35	0,330	0,465	0,610	1,285
1 : 1,0	4,10	0,200	0,565	0,630	1,355
1 : 0,5	3,85	0,125	0,500	0,665	1,330

Перечисленная таким образом таблица показывает сильное увеличение количества соды вследствие понижения количества натриевых солей в смеси почв, причем количество двууглекислой соды повысилось во всех случаях, количество же нормальной соды — только при больших количествах воды, бравшейся для приготовления водной вытяжки; когда же вытяжки готовились с пятерным и ниже количествами воды, то количество

нормальной соды, извлекаемой водой из солонца-солончака, находившегося в смеси с нормальной почвой, оказалось несколько ниже, чем из одного только солонца-солончака; для объяснения последнего нужно принять во внимание, что нормальная почва, прибавленная к солонцу-солончаку, уменьшая в смеси процентное содержание хлора и серной кислоты и тем увеличивая количество образующейся соды, вместе с тем действовала и понижающе на это количество, так как она «поглощала» нормальную соду (см. ниже); это влияние должно было проявляться тем сильнее, чем больше бралось почвы по сравнению с водой; таким образом, при бо́льших количествах воды брало перевес первое влияние, а при меньших — второе.

Из исследований Аризонской опытной станции мы приведем еще данные содержания соды в вытяжках солонца, приготовленных дистиллированной водой и 5%-ными растворами хлористого натрия и калия (все данные в процентах от веса почвы).

Отношение между почвой и водой	Вытяжка готовилась			
	водой	5%-ным NaCl	водой	5%-ным NaCl
	нормальная сода (в CO_3)		двууглекислые соли (в HCO_3)	
1 : 20,0	0,072	0,024	0,168	0,168
1 : 10,0	0,072	0,012	0,108	0,108
1 : 6,0	0,061	0,007	0,079	0,086
1 : 5,0	0,045	0,006	0,072	0,078
1 : 4,0	0,043	0,007	0,062	0,067
1 : 3,0	0,039	0,004	0,056	0,061
1 : 2,0	0,024	Сл.	0,055	0,055
1 : 1,0	0,012	0	0,053	0,044
1 : 0,5	0,008	0	0,053	0,032

Отношение между почвой и водой	Вытяжка готовилась			
	водой	5%-ным KCl	водой	5%-ным KCl
1 : 20,0	0,072	0,048	0,168	0,192
1 : 10,0	0,048	0,030	0,160	0,168
1 : 6,0	0,037	0,018	0,151	0,154
1 : 5,0	0,034	0,006	0,138	0,144
1 : 4,0	0,030	Сл.	0,134	0,132
1 : 3,0	0,025	»	0,124	0,133
1 : 2,0	0,019	»	0,120	0,120
1 : 1,0	0,011	0	0,098	0,096
1 : 0,5	0,007	0	0,049	0,049

Исследовавшийся в этом случае солонец содержал 0,141% NaCl и 0,098% Na_2SO_4; прибавление к воде, которой производилась вытяжка, значительного количества хлористого натрия или хлористого калия, как видно из приведенной таблицы, сильно понизило количество образующейся нормальной соды при всех отношениях между количествами почвы и воды, бравшимися для приготовления вытяжек, а при малых отношениях образование нормальной соды вовсе прекратилось. Относительно двууглекислой соды эти опыты Аризонской станции, как и описанные, ничего не говорят, так как не производилось разделения бикарбонатов на щелочные и щелочноземельные; растворимость же последних повышается в присутствии в воде хлорида натрия и калия.

Таким образом, все вышеприведенные исследования Аризонской сельскохозяйственной опытной станции еще раз подтверждают положение, давно уже высказанное мною как следствие из моей теории солонцов и доказанное экспериментально, что присутствие в почве хлоридов натрия, как и всяких других растворимых солей, понижает выход соды из солонцовых почв *.

2. Если к несолонцеватой почве прибавить соду, то она «исчезает» из нее: обменной реакцией с поглощенным кальцием почвы из нее образуется углекислый кальций; благодаря трудной растворимости одного из продуктов этой реакции — углекислого кальция — реакция эта может идти очень далеко; если обрабатывать 10 *г* чернозема 80 *см*^{3} раствора Na_2CO_3 различной концентрации, то поглощение почвой натрия из соды с образованием углекислого кальция идет таким образом:

Концентрация соды, нормальность		Почва поглотила Na		Концентрация соды, нормальность		Почва поглотила Na	
до обработки почвы	после обработки почвы	% от веса почвы	% от содержания в первоначальном растворе	до обработки почвы	после обработки почвы	% от веса почвы	% от содержания в первоначальном растворе
0,10	0,056	0,82	44	0,04	0,020	0,37	50
0,08	0,040	0,66	50	0,02	0,009	0,20	55
0,06	0,029	0,57	52	0,01	0,004	0,11	60

Из таблицы мы видим, что при концентрации соды в бравшемся в этом опыте растворе 0,01 н. (0,053%), почва «уничтожает 60% от всей присутствующей в растворе соды, переводя ее в углекислый кальций; такой результат получается при воздействии на 100 *г* почвы 800 *см*^{3} содового раствора; но в почвах соотношение между почвой и почвенным

* В количественном отношении это действие растворимых солей зависит от растворимости в них $CaCO_3$.

раствором всегда значительно меньше и очень редко подымается выше 2:1, а при таком соотношении количество поглощаемого катиона возрастает очень сильно, и в этих условиях сода при концентрациях около 0,01 н. количественно вся исчезает из почвы.

Таким образом, пока почва не насытится натрием, пока из нее не будет вытеснен почти нацело поглощенный кальций, до тех пор та сода, которая могла бы получиться реакцией между натриевыми солями и углекислым кальцием, переходит снова в углекислый кальций; а после насыщения почвы натрием, естественно, будет происходить реакция взаимообмена кальция углекислого кальция на поглощенный натрий, а не на натрий натриевых солей, так как в первом случае один из продуктов взаимообмена — совокупность чрезвычайно трудно растворимых соединений (поглощающий комплекс, содержащий поглощенный натрий), а во втором случае оба продукта — соединения легко растворимые.

3. Наконец укажем, что влияние соотношения между почвой и водой, применяющегося при приготовлении водных вытяжек для определения количества соды в почве, было бы иное, если бы сода образовалась в почве в результате взаимообмена между $CaCO_3$ и $NaCl$, чем это на самом деле имеет место для солонцовых почв. Приведем некоторые из наших исследований, относящихся к этому вопросу.

Когда мы имеем дело с почвой, практически не содержащей воднорастворимых солей, например с нормальным черноземом, на который вода действует, разлагая его алюмосиликатные и гуматные соединения, то при различном отношении между почвой и водой картина взаимодействия получается такая:

Действие различных количеств воды на незасоленную почву

Отношение между почвой и водой	Общее количество минеральных веществ, извлекаемых из почвы, *г*		Отношение между почвой и водой	Общее количество минеральных веществ, извлекаемых из почвы, *г*	
	на 10 *см*³ вытяжки	на 100 *г* почвы		на 10 *см*³ вытяжки	на 100 *г* почвы
1 : 20	0,0020	0,0400	1 : 4	0,0067	0,0268
1 : 10	0,0037	0,0370	1 : 3	0,0080	0,0240
1 : 8	0,0043	0,0344	1 : 2	0,0106	0,0213
1 : 6	0,0049	0,0294	1 : 1,5	0,0136	0,0204
1 : 5	0,0056	0,0280	1 : 1	0,0189	0,0189

т. е. с уменьшением количества воды на единицу взятой почвы концентрация веществ, извлекаемых водой из почвы, повышается, а количество веществ, извлекаемых из одного и того же веса почвы, понижается, причем то и другое изменяется не пропорционально изменению количества воды, а медленнее; такой результат показывает, что действие воды на почву в данном случае заключается в разложении

почвенных соединений водой и что другие действия воды — растворение легко растворимых солей или растворение трудно растворимых солей, если они и имеют место, то во всяком случае по величине своего эффекта отступают на задний план сравнительно с разлагающим действием воды.

Действительно, в том случае, когда почва очень богата легко растворимыми солями, так что в общем эффекте действия воды на нее значительно преобладает растворение над разложением, в результате изменения соотношения между количествами почвы и воды, берущимися при изготовлении водных вытяжек, получается картина, подобная нижеследующей (опыт с солончаком, содержащим только хлориды натрия — 3,251% и хлориды кальция — 0,423%):

Действие различных количеств воды на натриево-кальциевый солончак

Отношение между почвой и водой	Общее количество водорастворимых минеральных веществ, извлекаемых из почвы		
	на 100 $см^3$ вытяжки		на 100 *г* почвы
	в граммах	принимая первое число за 1/20	
1 : 20	0,185	1/20	3,699
1 : 10	0,370	1/10	3,697
1 : 8	0,463	1/8	3,700
1 : 6	0,613	1/6	3,679
1 : 5	0,737	1/5	3,685
1 : 4	0,918	1/4	3,670
1 : 3	1,234	1/3	3,702
1 : 2	1,846	1/2	3,692
1 : 1	3,701	1	3,701

т. е. в этом случае с уменьшением количества воды, берущейся на единицу веса почвы, концентрация в вытяжке извлекаемых водой веществ повышается почти точно обратно пропорционально количеству воды, а количество веществ, извлекаемых водой из единицы веса почвы (например из 100 *г*), остается почти неизменным.

В том же случае, когда в почве над всеми возможными видами действия воды приобретает растворение трудно растворимых соединений, в результате приготовления водных вытяжек при различном отношении между количеством почвы и количеством воды получаем следующее (опыт с солончаком, засоленным только гипсом — 9,8% $CaSO_4$):

Действие различных количеств воды на кальциевый солончак

Отношение между почвой и водой	Общее количество воднорастворимых минеральных веществ, извлекаемых из почвы		
	г на 100 *см*³ вытяжки	на 100 *г* почвы	
		в граммах	принимая последнее число за единицу
1 : 20	0,193	3,804	20,02
1 : 10	0,193	1,931	10,05
1 : 8	0,188	1,504	7,88
1 : 6	0,193	1,158	6,03
1 : 5	0,191	0,955	4,97
1 : 4	0,189	0,756	3,94
1 : 3	0,190	0,570	2,97
1 : 2	0,193	0,386	2,02
1 : 1	0,191	0,192	1,00

Таблица показывает, что в этом случае получаются соотношения, обратные тому случаю, когда в почве имеется много легко растворимых солей, растворяющихся целиком уже при наименьшем количестве воды, а именно: здесь концентрация веществ в вытяжке одна и та же при всех отношениях между почвой и водой, а количество веществ, извлекаемых из единицы веса почвы, возрастает прямо пропорционально количеству берущейся для вытяжки воды.

Посмотрим теперь, как будет изменяться щелочность водных вытяжек из солонца при различном соотношении между почвой и водой. Опыт был произведен с карбонатным солонцом, не содержащим ни хлоридов, ни сульфатов.

Отношение между почвой и водой	Щелочность от карбонатов и гуматов натрия, выраженная в граммах Na_2CO_3		Отношение между почвой и водой	Щелочность от карбонатов и гуматов натрия, выраженная в граммах Na_2CO_3	
	на 100 *см*³ вытяжки	на 100 *г* почвы		на 100 *см*³ вытяжки	на 100 *г* почвы
1 : 20	0,039	0,780	1 : 4	0,070	0,280
1 : 10	0,049	0,490	1 : 3	0,077	0,231
1 : 8	0,054	0,432	1 : 2	0,083	0,166
1 : 6	0,061	0,366	1 : 1	0,099	0,099
1 : 5	0,065	0,325			

Так как вытяжки получались темноокрашенными, то более или менее точное определение щелочности в первоначальной вытяжке было невозможно; поэтому определение титрованием серной кислотой велось после

выпаривания и прокаливания вытяжки и отделения соды от углекислого кальция; таким образом определялся весь натрий водной вытяжки, связанный с углекислотой и органическими веществами.

Приведенные данные показывают, что в отношении извлечения из солонца соды действие различных количеств воды не походит ни на растворение легко растворимых солей почвы, ни на растворение труднорастворимых солей, но оно совершенно того же типа, как разлагающее действие воды, так как количество извлекаемого из почвы натрия соды и гуматов (натрий водной вытяжки) при пересчете на единицу почвы растет с увеличением количества воздействующей воды, а концентрация этих соединений в воде при этом уменьшается, причем и то и другое происходит не пропорционально изменению количества воды, а медленнее. Совершенно такая же картина получилась в исследованиях Аризонской опытной станции в отношении количеств нормальной соды, извлекаемой из солонцов различными количествами воды, как это видно из ранее приведенных таблиц.

Таким образом, и изучение действия воды на солонцовые почвы показывает, что в таких солонцах, где уже нет вовсе хлоридов и сульфатов натрия, сода не представляет готового запаса, а образуется в процессе воздействия воды на почву, как результат обменных с нею реакций содержащихся в ее почвенном растворе катионов кальция или водорода. Если же солонцовая почва содержит еще хлориды и сульфаты натрия и если бы сода образовывалась реакцией взаимообмена основаниями между этими солями и углекислым кальцием, то наибольшая концентрация соды должна быть в первой водной вытяжке, а затем сразу резко падать: чего на самом деле нет, как показывают вышеприведенные исследования.

Итак вся совокупность имеющихся данных говорит против теории образования соды в солонцовых почвах из углекислого кальция и растворимых солей натрия.

ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС

В предшествующем изложении мы всюду упоминали о почвенном поглощающем комплексе как совокупности соединений, проявляющих способность к обменным реакциям. Теперь мы подробнее остановимся на этом комплексе, на его свойствах, происхождении и роли в почве.

Под именем почвенного поглощающего комплекса (или суммы «цеолитной» и «гуматной» частей почвы) я понимаю ту часть почвы, которую можно охарактеризовать таким образом:

1) с химической стороны поглощающий комплекс состоит из нерастворимых в воде солеобразных алюмосиликатных * (минеральная часть поглощающего комплекса, или «цеолитная» часть почвы), органи-

* Сюда будут входить соли кремневых, соли комплексных алюмо- (или ферри-) и алюмоферрикремневых кислот, а также соответствующие свободные кислоты.

ческих и органо-минеральных (органическая часть поглощающего комплекса, или «гуматная» часть почвы) соединений;

2) с физической стороны почвенный поглощающий комплекс представляет совокупность тех почвенных соединений, которые находятся в почве в мелко раздробленном состоянии; эта высокодисперсная твердая часть почвы, ультрамеханическая часть ее, по всей вероятности, близко совпадает с коллоидальной частью почвы; но возможно, что некоторое участие в характерных реакциях этого комплекса принимают и частицы, соседние по величине, более крупные, нежели коллоидальные, а именно фракция с диаметром частиц между 0,001 *мм* и 0,00025 *мм*. В почвах обычно эти коллоидальные частицы поглощающего комплекса (первичные частички комплекса) находятся не в свободном, раздельном состоянии, а в виде агрегатов их большей или меньшей величины (вторичные частички комплекса), а также в виде агрегатов с частичками более крупных механических фракций почвы, являясь в этом случае цементом, склеивающим эти более крупные частицы; кроме того, эти первичные, а также более мелкие вторичные частички поглощающего комплекса могут с большей или меньшей прочностью прилипать к поверхности почвенных частиц крупных фракций.

В совокупности вышеуказанные два свойства поглощающего почвенного комплекса сообщают ему те особенности, которыми он отличается от всей остальной части почвы и благодаря которым ему приходится отводить особое место. Благодаря второму из указанных свойств, а именно высокой степени дисперсности своих частичек, поглощающий комплекс обладает высокой реакционной способностью; несмотря на то, что это твердое, в воде почти вовсе нерастворимое тело, поглощающий комплекс очень энергично реагирует в водной среде и с твердыми коллоидально растворенными частицами, и особенно с электролитами, растворы которых приходят в соприкосновение с ним.

В отношении этой реакционной способности поглощающий почвенный комплекс приближается уже к веществам, дающим в водной среде молекулярные и ионные растворы, т. е. к водорастворимым соединениям почвы, и стоит тем ближе к ним, чем выше степень его дисперсности.

Другое из основных свойств почвенного поглощающего комплекса — солеобразный характер составляющих его соединений — предрешает общий характер преобладающей реакции его с электролитами, находящимися в почвенном растворе; это будет реакция взаимного обмена катионами между этими электролитами и молекулами, расположенными на поверхности твердых частиц поглощающего комплекса, т. е. обменная реакция, обусловливаемая физико-химической поглотительной способностью почв. Конечно, между частицами поглощающего комплекса и веществами, находящимися в почвенном растворе, возможны и другие реакции; на одну из них мы уже указывали. Это — взаимная коагуляция коллоидальных частиц поглощающего комплекса с циркулирующими, например, в почве высокодисперсными коллоидальными раство-

рами органических веществ, кремнекислот, гидроокисей железа и алюминия.

Далее, присутствие в почве коллоидально раздробленных частиц может обусловливать положительную или отрицательную адсорбцию растворенных в почвенном растворе соединений, вызывая, между прочим, усиленный гидролиз электролитов раствора, состоящих из неодинаково сильных ионов. Возможны и, наверное, протекают и другие реакции как упрощения, так и усложнения имеющихся в поглощающем комплексе соединений, и в некоторых случаях эти реакции могут иметь существенное значение в жизни почвы; но, отвлекаясь от частностей и исключений, нужно, по-видимому, признать, что обменная реакция вообще занимает первое место; она в количественном и качественном отношениях будет для поглощающего комплекса почвы и почвенного раствора реакцией первого порядка; прочие реакции будут занимать, вообще говоря, место второго, третьего и т. д. порядков.

Но наряду с высокой реакционной способностью почвенного поглощающего комплекса, приближающей в этом отношении его и особенно ту его часть, которая обладает наибольшей степенью дисперсности, к воднорастворимым соединениям, этот комплекс не растворим в воде и благодаря этому, а также нерастворимости продуктов распада его анионной части («коллоидальной» их растворимости), как самый этот комплекс, так и эти продукты распада способны в той или иной степени сохраняться в месте их образования или скопляться на той или иной глубине; даже и в том случае, когда продукты эти вымываются вон из почвенной толщи, например, в грунтовые воды, даже и тогда очень часто мы имеем след этого в том поглощающем комплексе, из которого они вынесены; очень часто в тех случаях, когда мы не можем обнаружить этого следа, происходит это лишь вследствие малой еще разработанности методики исследования поглощающего комплекса.

Очень существенным вопросом для познания почвенных процессов и роли гумуса в почве является вопрос об относительной роли в явлениях обмена органической и минеральной части почвенного поглощающего комплекса. От разрешения этого вопроса полностью мы еще очень далеки и, между прочим, из-за отсутствия подходящей методики исследования. Но, пользуясь возможностью с помощью обработки перекисью водорода удалять гумус из почвы, не нарушая сколько-нибудь заметно емкости обмена ее минеральной части, можно с достаточным на первое время приближением изучить относительную роль той и другой части поглощающего комплекса и явлениях обмена. Так например, мое исследование тучного чернозема (горизонт 0—20 *см*) показало следующее.

Емкость обмена всей почвы была 54,1 *мг-экв*; из них на минеральную часть поглощающего комплекса падало 26,1 *мг-экв*, на органическую — разность, т. е. 28,0 *мг-экв*. Гумуса в этой почве было 10%; таким образом, на 100 *г* минеральной части почвы приходится емкости обмена 29 *мг-экв*, а на 100 *г* гумуса — 280 *мг-экв*. Если считать не на всю минеральную часть почвы и не на весь гумус, а только на ми-

Таблица 1

Валовой анализ гор. 80—100 *см* кубанского чернозема и его механических фракций (анализ принадлежит автору)

Фракции, *мм*	SiO_2	$Al_2O_3+Fe_2O_3$ *	SiO_2 * : $(Al_2O_3+Fe_2O_3$ *)	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ca	Mg	Гумус **	Химически связанная вода **	Наибольшая гигроскопичность	Гигроскопическая вода **	Содержание фракции в почве
	% на мнеральное вещество							% на сухое вещество			на воздушно-сухое вещество	
Первоначальная почва:												
естественная	66,96	0,247	4,52	20,48	7,52	0,892	0,874	1,08	7,93	14,99	7,67	—
насыщенная Na	67,21	—	—	20,35	7,64	0,266	0,689	—	—	—	—	—
<0,00025												
насыщенная Na	54,47	0,367	2,47	30,20	11,39	0,182	0,977	1,06	12,33	27,21	11,42	61,0
насыщенная Ca	55,24	—	—	31,06	11,14	1,628	0,993	—	—	—	—	—
0,001—0,00025												
насыщенная Na	63,10	0,291	3,61	25,21	7,34	0,212	0,818	4,97	7,21	7,42	4,04	4,1
насыщенная Ca	64,25	—	—	25,42	7,64	1,000	0,820	—	—	—	—	—
0,25—0,001												
насыщенная Na	87,15	0,095	15,28	8,23	2,49	0,443	0,230	—	1,76	0,41	0,70	34,9
0,005—0,001												
насыщенная Na	79,44	0,128	10,24	10,71	3,74	0,416	0,724	2,25	3,50	—	2,02	5,8
0,01—0,005												
насыщенная Na	88,49	0,078	18,89	7,12	1,47	0,422	0,159	0,00	1,15	—	0,45	18,2
0,05—0,01												
насыщенная Na	90,75	0,071	21,29	6,44	1,37	0,434	0,177	0,00	1,14	—	0,34	9,5
0,25—0,05												
насыщенная Na	83,23	0,120	11,55	8,61	5,88	0,334	0,292	0,00	4,65	—	0,84	1,4

* Здесь SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 выражены в грамм-молекулах.

** Определения сделаны С. Поповым.

неральный поглощающий комплекс и на органический поглощающий комплекс, то, принимая во внимание, что на 100 *г* данной почвы, по моим исследованиям, содержалось 25 *г* минерального поглощающего комплекса и 3 *г* органического, получим, что 100 *г* минерального комплекса обладают 104,4 *мг-экв* емкости обмена, а 100 *г* органического комплекса — 933 *мг-экв*, т. е. в девять раз большей. Таким образом, относительная роль гуматной части тучного чернозема в явлениях обмена во много раз больше, чем минерального комплекса. Крайне желательно было бы изучить в таком же направлении роль гумуса в различных типах почв и в одном и том же типе при различном содержании гумуса в почве.

Для того чтобы дать представление о химическом составе почвенного поглощающего комплекса и об отличии этого состава поглощающего комплекса как одной из механических фракций почвы от состава остальных, более крупных механических фракций, я здесь приведу следующее:

1) в табл. 1 — химический валовой состав, полученный мною для различных механических фракций горизонтов 80—100 *см* кубанского слитого чернозема; перед механическим анализом почва насыщалась нат-

Таблица 2

Валовой анализ коллоидальной фракции чернозема Носовской сельскохозяйственной станции, % от сухого вещества

(анализ принадлежит Ф. Н. Германову)

	Первоначальная почва, 3—10 *см*	Коллоидальная фракция (<0,00025 *мм*)		
		3—10 *см*	20—30 *см*	60—70 *см*
SiO_2	81,43	40,36	39,95	41,09
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$ *	0,080	0,226	0,226	0,223
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$ *	16,96	2,97	2,94	3,06
Al_2O_3	6,64	16,65	17,04	17,05
Fe_2O_3	2,52	9,97	9,48	8,95
Ca	0,652	0,127	0,213	0,117
Mg	0,421	1,179	1,194	1,386
Гумус	3,12	10,88	10,93	8,54
Химически связанная вода	2,11	10,68	10,99	10,15
Наибольшая гигроскопичность	3,51	48,27	46,64	48,53
Содержание в почве коллоидальной фракции в процентах	—	7,80	9,36	11,09

* Здесь SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 выражены в грамм-молекулах.

Валовой химический состав коллоидальной фракции <0,00025 *мм* лисинских почв,
(Анализ принадлежит А. А. Роде)

	Разрез 3				Разрез 69			Разрез 34		
	5—10 *см*	15—20 *см*	40—45 *см*	90—90 *см*	5—10 *см*	30—35 *см*	100—115 *см*	40—45 *см*	80—85 *см*	115—120 *см*
SiO_2	28,41	33,40	16,20	46,49	24,71	42,23	46,15	41.10	47,98	47,65
$Al_2O_3+Fe_2O_3$ *	0,207	0.271	0,308	0,311	0,184	0,336	0,312	0,260	0,294	0,294
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$	2,28	2,05	2,50	**2,48**	2,23	2,10	2.47	2,63	2,71	2,70
Al_2O_3	16,80	22,92	23,67	23,58	16,04	23,41	21.87	23,25	24,25	23,77
Fe_2O_3	6,98	7,64	12,30	12,54	4,31	16,92	14.10	5,32	9,26	9,87
CaO						Следы				
MgO	1,92	2,17	2,82	3,14	1,13	2,16	2,83	2,01	3,24	3,50
K_2O	—	—	3,33	3,70	0,96	2,51	3,84	2,27	4,06	4,23
Гумус	22,76	14,59	1,05	0,86	37,46	2,14	0,99	16,49	2,53	2,25
Химически связанная вода	8,47	8,51	7,40	6,38	6,16	7,81	6,80	5,84	5,83	5,66
Содержание в почве коллоидальной фракции	2.35	1,70	25,20	19,20	12,60	23,10	24,90	15,55	13,40	12,20

* Здесь SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 выражены в грамм-молекулах.

рием, и отмучивание затем велось до возможно полного выделения каждой фракции:

2) химический валовой анализ коллоидальной фракции (выделенной из почв также после насыщения их натрием), произведенный моими научными сотрудниками, а именно: в табл. 2 — данные Ф. Н. Германова для трех горизонтов носовского чернозема (осолодевший, бедный гумусом чернозем) и в табл. 3 — данные А. А. Роде послойного валового химического состава коллоидальной фракции четырех оподзоленных почв Лисинского лесничества.

Остановлюсь прежде всего на данных табл. 1.

Прежде всего отметим, что гумус обнаружен только во фракциях <0,00025, 0,001—0,00025 и 0,005—0,001 *мм*; ясно, что только в них имелась и органическая часть поглощающего комплекса. Интересно отметить, что больше всего гумуса найдено в подколлоидальной фракции (4,97%) и меньше всего в коллоидальной (1,06%); мы думаем, что это обстоятельство указывает на неполное отделение органических коллоидальных частиц от остальных двух фракций. Содержание в них гумуса, перечисленное на 100 *г* первоначальной почвы, составляет всего 0,3%;

Таблица 3

в % от сухого вещества

Разрез 26			
5—10 *см*	30—35 *см*	60—65 *см*	100—105 *см*
33,76	45,28	41,81	45,49
0,219	0,327	0,335	0,312
2,56	2,30	2,07	2,42
19,15	27,15	20,87	23,41
3,13	9,75	20,98	13,39
1,01	2,72	2,35	2,81
1,06	2,54	2,88	3,65
28,48	3,11	2,00	1,60
6,67	7,61	7,49	6,52
14,65	18,50	23,65	21,50

таким образом, если при отмучивании коллоидальной части из 100 *г* почвы не было доотмучено всего 0,3% органических коллоидов, то этого вполне достаточно, чтобы более крупные две наши фракции засорились найденными нами в них количествами гумуса. Этих небольших количеств гумуса из 100 *г* почвы (во фракции 0,001—0,00025 *мм* — 0,2 *г*, во фракции 0,001—0,005 *мм* — 0,13 *г*), которые остались в этих фракциях вследствие (по нашему мнению) неполного отмучивания, достаточно, однако, для того, чтобы сильно отозваться на обменной способности этих фракций (см. ниже, раздел «Размеры почвенных частиц, обладающих физико-химической поглотительной способностью»).

Далее мы видим, что постепенно, с уменьшением диаметра частиц, механические фракции (самую крупную фракцию — 0,25—0,05 *мм* — пока оставляем в стороне, о ней скажем ниже) становятся все богаче полуторными окислами и беднее кремнекислотой, отношение $SiO_2 : (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ постепенно все уменьшается; у коллоидальной фракции оно наименьшее (2,47), у подколлоидальной несколько больше (3,61), а у следующей же по величине зерна фракции 0,001—0,005 *мм* оно сразу повышается до 10,34, а затем продолжает расти до 21,29. Такое изменение отношения $SiO_2 : (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ в первую очередь объясняется содержанием кварца в различных фракциях почвы: количество его постепенно растет с крупизной фракции; все фракции, включая фракцию мелкой пыли, содержат его; может быть, он имеется и в подколлоидальной фракции, в коллоидальной же фракции его нет, как показали исследования Hendricks'а и Fry с помощью анализа X-лучами.

Алюмосиликатов во фракциях 0,005—0,001 *мм* сравнительно мало; они сосредоточены в измененном, вторичном состоянии в подколлоидальной и главным образом коллоидальной фракциях, а в первичном состоянии — в самой крупной фракции 0,25—0,05 *мм*, показавшей в валовом составе содержание полуторных окислов и сравнительно низкое отношение $SiO_2 : (Al_2O_3+Fe_2O_3)$, около 11.

Интересно содержание кальция и магния в различных фракциях.

В первоначальной почве * мы имеем 0,820% Ca и 0,805% Mg; в той же почве, но насыщенной полностью натрием, содержится 0,244% Ca и 0,629% Mg; таким образом, в первоначальной почве мы имеем: обменного Ca — 0,576% и обменного Mg — 0,176%, необменного Ca — 0,244% и необменного Mg — 0,629%.

Обменные кальций и магний, как мы увидим ниже, в разделе «Размеры почвенных частиц, обладающих физико-химической поглотительной способностью», сосредоточиваются почти исключительно в коллоидальной фракции; необменные же кальций и магний ведут себя в этом отношении различно: необменного кальция меньше всего в коллоидальной фракции ** (всего 0,182%, или 9,1 *мг-экв*, при 72,3 *мг-экв* обменного кальция); немного больше его в подколлоидальной фракции и значительно больше во всех остальных более крупных фракциях (0,001—0,25 *мм*), и притом во всех этих более крупных фракциях количество его почти одинаково (около 0,4%, или 20 *мг-экв*). Магния необменного, наоборот, больше всего в коллоидальной фракции (0,977%, или 81,4 *мг-экв*, при 13,5 *мг-экв* обменного магния во всей почве); немного меньше и одинаково в подколлоидальной фракции (0,001—0,0001 *мм*) и во фракции мелкой пыли (0,005—0,001 *мм*) — 0,810%, или 67,5 *мг-экв*, и значительно меньше в остальных трех крупных фракциях, причем во фракции 0,01—0,005 *мм* это содержание достигает минимума (0,159%, или 13,0 *мг-экв*), а затем, с дальнейшим укрупнением, опять повышается, достигая в самой крупной фракции 0,292%, или 24,3 *мг-экв*.

Таким образом, коллоидальная фракция (и соседние с ней подколлоидальная и мелкая пыль) состоит из алюмосиликатов, богатых магнием; в каждой частице мы имеем здесь дифференциацию внешних молекул, расположенных на поверхности частицы, и внутренних молекул, составляющих ядро частицы; во внешних молекулах вследствие обменных реакций, вследствие преобладания иона кальция в почвенном растворе над всеми остальными катионами и значительно большей энергии обмена кальция (по сравнению с магнием) магний заместился в большей своей части кальцием. С кальцием имеем картину обратную: кальциевые силикаты находятся главным образом в крупных фракциях, где магниевых силикатов сравнительно мало, в мелких же фракциях этих силикатов очень мало (необменный кальций).

В доказательство того, что приводимое нами толкование соотношения между количеством обменных и необменных катионов (обменные находятся на поверхности частиц, необменные же внутри частиц) соответствует действительности, можно привести недавно опубликованное, очень интересное исследование Kelley, Dore и Brown'a влияния растирания в шаровой мельнице бентонита и почвенных коллоидов на состав

---

* Данные для первоначальной почвы даны здесь в процентах сухой почвы.
** Данные фракции даны на их минеральную часть.

обменных катионов и на емкость обмена *. Мы сначала приведем их данные для бентонита.

Образец бентонита, содержащего микрокристаллы монтмориллонита (минерал из слюд) и имевшего 4,6% необменного магния (в MgO) и 28 *мг-экв* (на 100 *г*) обменного магния, был насыщен целиком кальцием и подвергнут растиранию, а затем исследованию на обменные катионы. Вот данные этого опыта.

Действие раздробления в шаровой мельнице на обменные катионы бентонита, насыщенного Ca

Образцы	Содержание обменных катионов, *мг-экв*				
	Ca	Mg	K	Na	всего
Нераздробленный	106	0	0	0	106
Раздроблялся 30 часов	107	68	Сл.	Сл.	175
» 72 часа	106	222	»	»	328

Совершенно ясно, что кальций в этом бентоните содержался исключительно в форме обменного (к сожалению, авторы не дают валового его содержания) и был вторичного происхождения (заменил собой магний на поверхности частиц), магний же содержался в нераздробленном минерале только внутри частиц; раздробление создало новую внешнюю поверхность с молекулами, содержащими только магний и не содержащими Ca, K и Na, так как последних внутри частичек не имелось.

Действие раздробления на обменные катионы бентонита, содержащего обменный натрий

Образцы	Содержание обменных катионов, *мг-экв*				
	Ca	Mg	K	Na	всего
Нераздробленный	6,6	12,6	3,7	61,7	84,6
Раздроблялся 24 часа	7,8	41,1	4,1	65,3	121,3

В этом образце от раздробления повысилось также только содержание обменного магния; Ca, K и Na были в нем только на поверхности естественных частиц, т. е. они появились здесь вследствие обменных реакций с первично присутствовавшим здесь обменным магнием катионов кальция, калия и натрия электролитов, воздействовавших в природных условиях на этот бентонит.

---

* *W. P. Kelley, W. H. Dore, a. Brown.* The natural of the base-exchange material of bentonite, soils and zeolites, as revealed, by chemical investigation and X-ray analysis.— Soil Sci., v. 31, 1931, N 1, p. 25.

Два приведенных выше образца бентонита были магнезиальными. Приведу еще опыт с раздроблением магнезиально-калийного бентонита.

Действие раздробления на магнезиально-калийный бентонит

Образцы	Содержание обменных катионов, *мг-экв*				
	Ca	Mg	K	Na	всего
Нераздробленный	31,8	2,0	0,9	0	34,7
Раздроблялся 30 часов	32,3	38,4	29,0	2,3	102,0

Раздробление в этом случае повысило количество обменного магния и обменного калия.

Опыты с раздроблением илистой фракции из пяти различных почв (каждая фракция была предварительно насыщена кальцием) показали, что в зависимости от почвы раздробление влияет различно на тот или другой обменный катион; содержание обменного магния повышалось всюду, но в различной степени (повышение на 100 *г* коллоида от 103 до 6,8 *мг-экв*); во всех случаях повысилось и содержание обменного калия, но значительно меньше, чем магния (от 29 до 7 *мг-экв*); количество обменного кальция повысилось в четырех почвах очень слабо и только в одной — на 9 *мг-экв*; слабое влияние оказало раздробление и на содержание обменного натрия, но и в этом случае илистая фракция дала повышение на 12 *мг-экв*.

Данные влияния раздробления илистой фракции на количество ее обменных катионов вместе с данными валового состава этих катионов в этой фракции мы приводим в нижеследующей таблице (стр. 489).

Обращаюсь теперь к послойному содержанию коллоидальной части и ее составу в черноземе и подзолистых почвах (табл. 2 и 3 на стр. 483 и 484). Черноземная почва содержит во всех своих слоях очень небольшое количество поглощающего комплекса (от 8 до 11%); почва эта сравнительно крупнозернистая и по происхождению представляет собой рассолонцованный солонец, так что в ней и органическая, и минеральная части комплекса подверглись разрушению и вымыванию; содержание поглощающего комплекса по горизонтам почти одинаковое; в верхних горизонтах, как более затронутых процессами осолодения, его немного меньше, чем в нижних. Что касается состава минеральной части поглощающего комплекса и содержания органической части, то и то, и другое во всех трех горизонтах почти совершенно одно и то же; одинаково в них и отношение $SiO_2:(Al_2O_3+Fe_2O_3)$, а именно 3 (отметим, что то же отношение мы получили для гор. 80—100 *см* слитого кубанского чернозема). Особой дифференциации горизонтов нет, нет и различия в поглощающем комплексе. Все три горизонта содержат в поглощающем комплексе очень много необменного магния (больше 1%) и мало необменного

Действие раздробления илистой фракции почв, насыщенных кальцием, на обменные катионы
(данные W. P. Kelley, W. N. Dore и S. M. Brown)

Номер почвы и обработка илистой фракции	Содержание, *мг-экв* на 100 *г* вещества				
	Ca	Mg	K	Na	всего
I Обменные катионы нераздробленной фракции	58,1	6,1	0,3	1,1	65,6
Обменные катионы раздробленной фракции	60,4	109,3	29,0	5,4	204,9
Валовое количество катионов	80,0	142,0	22,0	22,0	—
II Обменные катионы нераздробленной фракции	54,7	2,5	0	0	57,2
Обменные катионы раздробленной фракции	59,9	71,2	25,3	0	156,4
Валовое количество катионов	58,0	68,0	20,0	11,0	—
III Обменные катионы нераздробленной фракции	54,0	2,7	1,0	1,4	59,1
Обменные катионы раздробленной фракции	57,3	21,0	19,3	13,6	111,2
Валовое количество катионов	60,0	39,0	25,0	15,0	—
IV Обменные катионы нераздробленной фракции	32,8	2,3	0	1,0	36,1
Обменные катионы раздробленной фракции	41,7	27,3	26,0	0	95,0
Валовое количество катионов	101,0	155,0	33,0	22,0	—
V Обменные катионы нераздробленной фракции	14,2	0	0,2	3,9	18,3
Обменные катионы раздробленной фракции	14,0	6,8	7,3	6,0	34,1
Валовое количество катионов	14,0	20,0	7,0	7,0	—

кальция, но последний все-таки во всех горизонтах имеется, т. е. картина та же, какую мы видели в коллоидальной части кубанского чернозема.

Совершенно иная картина получается для исследованных А. А. Роде подзолистых почв Лисинского лесничества. Из числа почв, приведенных в табл. 3, разрез № 3 представляет сильнооподзоленную почву, разрез № 69 — перегнойно-подзолисто-глеевую почву, разрез № 34 — торфянисто-подзолисто-глеевую почву и разрез № 26 — перегнойно-подзолисто-глеевую почву. Прежде всего бросается в глаза непостоянство как в содержании коллоидальной части (и минеральной, и органической), так и в ее химическом составе, обнаруживаемое в слоях разреза: резкая дифференциация горизонтов в оподзоленных почвах влечет за собой и резкое различие в поглощающем комплексе этих слоев. В торфянисто-подзолисто-глеевой почве (разрез № 34), в которой после торфянистого слоя идет довольно однообразная оглеенная толща, коллоидальная часть

в различных слоях этой толщи уже также значительно однообразнее. Вместе с этим, сильно меняется по слоям величина отношения SiO_2: :$(Al_2O_3+Fe_2O_3)$ в коллоидах: в то время как во всех слоях исследовавшегося чернозема оно было почти одинаковое (2,94—3,06), в приведенных подзолистых почвах оно колеблется послойно, например от 2,05 до 2,50; и здесь торфянисто-подзолисто-глеевая почва выделяется из остальных трех оподзоленных почв; в ней это отношение в почвенном разрезе почти постоянно, как и в черноземе (2,63—2,70).

Сильная дифференцировка в подзолистой зоне идет не только в вертикальном направлении, но и в горизонтальном; здесь даже на очень малых пространствах в зависимости от условий рельефа мы имеем большую пестроту почвенного покрова; то же самое имеет место и на площади Лисинского лесничества; в соответствии с этим, как показывает табл. 3, очень разнообразно и количество, и состояние коллоидальной части в этих почвах; так например, в горизонте 5—10 *см* общее содержание коллоидов в разных разрезах колеблется от 2,35 до 14,65%, а минеральных коллоидов — от 1,64 до 9,50%.

Очень непостоянно в соответствующих горизонтах приведенных в табл. 3 почв отношение $SiO_2 : (Al_2O_3+Fe_2O_3)$. Мы видели, что у коллоидальной части носовского чернозема оно равно 3; такая же величина найдена мною в рассмотренном выше гор. 80—100 *см* кубанского чернозема; такая же она в коллоидальной части исследованного мною горизонта 0—20 *см* тульского тучного чернозема *; такое совпадение не может быть случайным. А вот в горизонте 5—10 *см* трех подзолистых почв одного лесничества это отношение составляет 2,28, 2,23 и 2,56; все эти данные определенно подтверждают вывод, сделанный научными сотрудниками Bureau of Soils САСШ, что величина этого отношения зависит от климата, что она во влажном климате меньше, чем в сухом, но, вместе с тем, наши данные определенно говорят, что тут дело не в климате в метеорологическом понимании, а климате почвы, главным образом в условиях увлажнения почвы, как главном факторе, обусловливающем степень разрушаемости поглощающего комплекса почвы: там, где этого разрушения нет, отношение $SiO_2 : (Al_2O_3+Fe_2O_3)$ будет выше; где оно идет, там будет ниже, и тем ниже, чем сильнее разрушается поглощающий комплекс; это справедливо не только в отношении отдельных почв, но и в отношении отдельных дифференцированных горизонтов почв; табл. 3 показывает, что во всех разрезах подзолистых почв в оподзоленных горизонтах рассматриваемое отношение ниже, чем в других, и это несмотря на то, что нижележащие горизонты заведомо обогащены полуторными окислами.

Таким образом, чем более разрушена алюмосиликатная часть почвы, тем меньше в коллоидальной части ее оказывается и абсолютное, и относительное содержание кремнекислоты. Очевидно, разрушение погло-

* См. мою монографию «Почвенный поглощающий комплекс». Изд. 2-е, 1927 г., стр. 43. (См. также стр. 260 в наст. томе).

щающего комплекса водой идет с отщеплением от алюмосиликатов кремнекислоты и с переходом ее в аморфном состоянии в более крупные фракции.

Мы видели, что в поглощающем комплексе черноземных почв кроме обменного кальция содержится, хотя и в меньшем количестве, и необменный кальций (0,1—0,2% от веса почвы); в коллоидальной же части приведенных подзолистых почв этого необменного кальция лишь следы. Факт очень интересный; мы видим в нем указание на различное происхождение поглощающего комплекса в почвах черноземного и подзолистого типа (см. об этом ниже, стр. 496).

Остановлюсь еще на величине наибольшей гигроскопичности коллоидальной фракции почвы. В таблицах 1 и 2 даны эти величины для коллоидов горизонта 80—100 *см* кубанского чернозема и для трех горизонтов носовского чернозема; в первом случае наибольшая гигроскопичность — 27,2%, а для носовского чернозема, в зависимости от горизонта,— 49,3—46,6%, т. е. 1 *г* коллоидов в первом случае поглощает 0,27 *г* парообразной воды, а во втором — 0,47—0,49 *г*; ясно, что вычисление количества коллоидов почвы по наибольшей гигроскопичности на основании одного среднего коэффициента не может дать более или менее точных результатов; и совершенно ясно, почему в двух вышеприведенных случаях такая громадная разница в количестве поглощаемой парообразной воды: кубанский коллоид содержит всего 1% гуматной части, а носовские — 10—8%; несомненно, органическая часть поглощающего комплекса обладает гораздо большей способностью поглощать пары воды, нежели минеральная; я думаю, далее, что эта способность у гуматной части не для всех почв будет одинаковой, т. е. наибольшая гигроскопичность 1 *г* гуматной части также не является величиной, постоянной для всех почв, а в сильной степени должна зависеть от характера гумуса.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Отметим прежде всего, что и материнские породы, если они содержат коллоидально раздробленную часть, содержат поглощающий комплекс; поэтому вопрос о происхождении алюмосиликатной части поглощающего комплекса до известной степени общий в отношении почвы и в отношении материнской породы. Кроме того, в отношении почв возникает вопрос о происхождении органической части поглощающего комплекса, которая, несомненно, играет весьма существенную роль в общем поглощающем комплексе почвы, и о влиянии органической части почвы на образование минерального поглощающего комплекса почвы.

В самой общей форме ответ на поставленный вопрос может быть сформулирован так: почвенный поглощающий комплекс есть результат механического, химического и биологического выветривания материнской породы и почвы и тех химических и физико-химических реакций, которые происходят между продуктами распада сложных соединений почвы;

протекающих при выветривании. Органическая часть поглощающего комплекса почвы, как и вся органическая часть почвы, есть образование чисто почвенное; обменной способностью обладают и некоторые первоначальные органические соединения мертвого отпада растительности и, по-видимому, сама клетка растительной ткани, а также некоторые продукты распада вещества растительных остатков; эта часть поглощающего комплекса обладает в почве наибольшей подвижностью; в почве она сравнительно быстро изменяется в качественном отношении, разрушается и вновь созидается; в составе ее в каждой почве можно найти и соединения различной степени устойчивости; различные почвы, в зависимости от условий их образования и современных условий их жизни, должны различаться между собой не только величиной их органического поглощающего комплекса и составом соединения, входящего в него, но соотношением между количествами соединений разной степени устойчивости; последнее же находится в теснейшей зависимости в первую очередь от количества в почве негумифицированных и не вполне гумифицированных органических остатков. Степень устойчивости соединений органического поглощающего комплекса почвы представляет собой весьма существенный классификационный признак.

Малая изученность почвенных органических веществ не позволяет пока ближе подойти к вопросам, связанным с происхождением гуматной части поглощающего комплекса. Что касается происхождения алюмосиликатной части поглощающего комплекса, то здесь сразу же возникает вопрос о том, какой стадии разрушения должны достичь алюмосиликатные соединения материнской породы, чтобы в результате его получились соединения, обладающие резко выраженной поглотительной способностью и находящиеся в коллоидальном раздроблении. По этому вопросу существуют две главные точки зрения.

Одна точка зрения, представителем которой можно считать H. Stremme *, который, кажется, первый развил ее, заключается в том, что, во-первых, минеральный почвенный поглощающий комплекс возникает в результате полного распада алюмосиликатов почвы на составляющие его окислы и что, во-вторых, образующиеся при этом распаде коллоидально растворенные гидраты окисей кремния, железа и алюминия не образуют между собою и с основаниями каких-либо определенных химических соединений; таким образом, по этому воззрению весь алюмосиликатный комплекс есть новообразование, прошедшее через стадии коллоидальных растворов SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 и представляющее собою механическую смесь SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 с адсорбированными ею основаниями.

Эту теорию, как нам уже приходилось высказываться, мы считаем, с одной стороны, противоречащей фактам. Мы указывали именно, что если бы в почвах мы имели дело с механической смесью означенных гидроокисей, то должно было бы быть совершенно иное отношение поч-

* См. мою статью «Материалы к познанию поглотительной способности почв».— Журн. оп. агр., т. 19, 1918, стр. 269.

вы к щелочам; едкие щелочи и щелочные карбонаты в этом случае должны были бы извлекать из первоначальной почвы очень много и алюминия и кремнекислоты, чего, однако, на самом деле как общего правила нет; бывают такие почвы (а именно солоди, см. мою статью «Осолодение почв»)[1], но далеко не все: из первоначальных почв, насыщенных основаниями, щелочи извлекают очень мало и кремнекислоты, и алюминия, независимо от величины их поглощающего комплекса, из почв же, не насыщенных основаниями, и того и другого, а особенно алюминия, извлекается заметно больше.

К подобному же заключению приводит недавно опубликованное исследование R. Bradfield * над действием соляной кислоты и едкого натра в различных концентрациях на коллоидальную глину, выделенную из подпочвы, и на синтетически приготовленную смесь из тщательно очищенных коллоидальных растворов гидроокисей алюминия и железа и коллоидальной кремнекислоты; количественный состав был один и тот же. Эти исследования показывают резкое различие в действии исследовавшихся растворителей на естественную коллоидальную часть почвы и на коллоидальную смесь того же состава.

Такие возражения можно сделать против допущения, что вновь возникающий алюмосиликатный комплекс есть простая механическая смесь гелей кремнекислоты, окиси железа и алюминия. С другой стороны, нельзя согласиться и с тем, что поглощающий комплекс образуется лишь из продуктов полного распада алюмосиликатного ядра; у нас нет никаких оснований отрицать возможность образования частиц коллоидальных размеров при выветривании алюмосиликатов именно из остатков выветривания (под остатками выветривания я понимаю все получающиеся продукты выветривания, за исключением простых, т. е. не содержащих кремнекислоты солей, и коллоидальных окисей кремния, железа и алюминия); тот или другой минерал, подвергаясь с поверхности совокупному действию различных видов выветривания, может давать, с одной стороны, отщепляющиеся от его поверхности простые гидраты окисей кремния, алюминия и железа, а с другой стороны, также отщепляющиеся мелкие частички более сложных соединений; нет никаких оснований предполагать, что распад идет обязательно до конца или что одни продукты распада (наиболее простые) отделяются, а другие, более сложные, отделиться от первоначального зерна не могут.

Нужно заметить, что теория возникла еще в то время, когда современный принцип коллоидальной химии: «коллоидальность есть известная степень дисперсности вещества»,— только завоевывал свое положение в науке; а до его утверждения, действительно, могло казаться странным и даже невозможным образование коллоидального минерала вследствие простого отщепления или распада остатка выветривания на мелкие частички.

---

[1] Стр. 130 в наст. томе.

* *R. Bradfield.* The Chemikal Nature of Colloidal Clay.— Journ. Amer. Soc. of Agronomy, 17, 1925, N 5, p. 256.

Другая точка зрения, на которой стоит и автор настоящей работы и которую он проводил во всех своих более ранних работах, касающихся рассматриваемого вопроса,— это та, что возникновение коллоидальной минеральной части в горных породах и в почве происходит под влиянием совокупного действия атмосферных и биологических агентов на составляющие породу и почву минералы, что это действие в конце концов может быть сведено к действию циркулирующих вод того или другого состава и что в результате этого действия могут, с одной стороны, возникать простые минеральные соединения в коллоидальном раздроблении, а с другой стороны, наряду с ними и коллоидально раздробленные остатки выветривания сложного состава, причем последние должны обладать, повидимому, меньшей степенью дисперсности, чем конечные продукты распада, т. е. SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, благодаря чему они и остаются на месте или поблизости от места их возникновения, а не передвигаются с такой же легкостью, как коллоидальные гидраты окисей кремпия, железа и алюминия.

Вместе с возникновением в горной породе и почве минеральпого поглощающего комплекса как результата упрощения и раздробления составляющих их минералов может идти и синтез его из отдельных коллоидальных гидратов окисей кремния, алюминия и железа (при ближайшем участии органических веществ) вследствие их взаимной коагуляции, причем возникающие новообразования нельзя рассматривать как простую смесь гелей, так как тут, как и при других коллоидальных реакциях, мы имеем по существу химическую реакцию, но так как она совершается лишь между молекулами, расположенными на поверхности коллоидальных частиц и притом лишь в местах соприкосновения частиц, то здесь не будет схематических соотношений в общей массе частиц, и самая связь будет более рыхлой, менее прочной, чем в случае реакций между молекулами и ионами. Очень существенную роль в образовании этого синтетического поглощающего комплекса должны играть марганец, фосфорная кислота и все простые соли почвенного раствора как коагуляторы и источники катионов.

Мы думаем, таким образом, что в горной породе и в почве возникновение коллоидально раздробленных соединений может идти обоими известными в коллоидальной химии путями: дисперсионным и конденсационным. При каолинизации, например полевого шпата, от молекул его, расположенных на поверхности кристалла, после замены металла на водород идет отщепление SiO_2; эта кремнекислота получается, конечно, при этом в истинном растворе, но так как растворимость ее совершенно ничтожна, то происходит конденсация молекул ее с образованием коллоидально раздробленного вещества. Имеем, таким образом, самый простой случай конденсационного способа возникновения коллоидально раздробленного вещества в почве.

С другой стороны, существовавшая связь между молекулами полевого шпата на поверхности его минерала вследствие отщепления от них того или другого количества кремнекислоты нарушается, ослабевает, и агрега-

ты таких молекул той или другой сложности будут действием воды отделяться с поверхности кристалла; будем получать каолин в той или другой степени раздробленности; в этом случае будем иметь дисперсионный способ получения в почве коллоидально распыленного вещества.

Когда в природе идет распад сложных силикатов с отщеплением от их молекул не только кремнекислоты, но и полуторных окислов (гидрата окиси алюминия, или гидрата окиси железа, или того и другого вместе), то здесь возможно и такое явление: когда эти простые соединения находятся еще в состоянии истинного раствора, они могут вступать между собой в химические соединения, образуя ферри-алюмосиликаты, которые затем, опять-таки вследствие их ничтожной растворимости, будут выпадать в коллоидальном раздроблении. Получающиеся таким путем коллоидальные раздробленные алюмосиликаты будут отличаться от таковых, возникающих путем взаимной коагуляции SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 из коллоидальных уже растворов этих соединений; соединение этих окислов в рассматриваемом случае будет происходить в стехиометрических отношениях, и связь между этими окислами будет значительно прочнее.

Типичным примером конденсационного (синтетического) способа образования поглощающего комплекса является в известной своей части органический поглощающий комплекс (здесь я не могу говорить о всем органическом комплексе, так как у меня нет никаких оснований отрицать возможность образования той или другой его части дисперсионным путем), а именно минерально-органическая его часть, образующаяся в результате коллоидально-химического синтеза продуктов выветривания и разложения.

Необходимо здесь подчеркнуть, что все затрагиваемые сейчас вопросы находятся лишь в самой начальной стадии экспериментальной разработки или не разрабатываются еще вовсе; говорить о них приходится на основании лишь самых общих соображений; но говорить нужно, хотя я ясно понимаю, что может завтра же появиться какое-либо исследование данного вопроса, которое заставит изменить в корне точку зрения, потому что эта точка зрения недостаточно обоснована; говорить нужно потому, что к этому принуждает сама жизнь науки, а затем и главным образом потому или, вернее сказать, для того, чтобы будить мысль исследователей, экспериментаторов в этом направлении, подталкивать их к изучению этих вопросов. Без изучения, при этом глубокого и кропотливого, разрешение этих вопросов, связанных с общей громадной проблемой «почвенного поглощающего комплекса», само собой понятно, совершенно невозможно.

С этой точки зрения нельзя не приветствовать той большой работы, давшей уже очень интересные результаты, которая ведется Mattson'ом по изучению синтеза коллоидальных веществ из отдельных присутствующих в почве более простых компонентов, затрагивающей попутно целый ряд существенных вопросов коллоидальной области почвы; эта работа должна быть особенно результативна, так как автор ее имеет воз-

можность использовать самую последнюю методику физической химии *.

Относительно происхождения минерального поглощающего комплекса в различных типах почв в зависимости от климатических условий (в первую очередь от степени увлажнения), при которых образовалась почва, в настоящее время можно указать следующее.

В почвах с малым увлажнением, в которых не происходит по крайней мере в ощутимых размерах распада алюмосиликатного ядра (а значит и в почвах хотя и с большим увлажнением, но содержащих карбонаты, защищающие это ядро от разрушающего действия воды), должен преобладать дисперсионный ход образования поглощающего комплекса; в почвах же с резко выраженным увлажнением, влекущим за собой энергичный распад алюмосиликатного ядра (подзолистая и латеритная зоны), должен преобладать конденсационный способ образования поглощающего комплекса; здесь, с одной стороны, мы должны встретиться с явлением сильного разрушения почвенного поглощающего комплекса, а с другой стороны, с ясно выраженным синтетическим новообразованием этого комплекса в том или другом слое, в том или другом месте.

Приведенные нами выше валовые анализы коллоидальной части чернозема и подзола (а также и другие имеющиеся в литературе данные) подтверждают, по моему мнению, высказанные здесь соображения. А именно, мы видим там, что в коллоидальном комплексе чернозема (совершенно то же имеем и для других черноземов) имеется и обменный, и необменный кальций; последнего в черноземах всегда значительно меньше, чем обменного, но все-таки он всегда имеется в заметном количестве; в подзолистых же почвах, как мы видим из приведенных анализов А. А. Роде, необменного кальция может почти вовсе не быть; конечно, подзолистые почвы бывают различные, и содержание необменного кальция в них может быть различно, но нам важно сейчас то, что встречаются такие оподзоленные почвы, в которых необменного кальция в поглощающем комплексе почти нет. Присутствие этого необменного кальция в поглощающем комплексе чернозема указывает, по моему мнению, на участие в той или другой степени остатков выветривания в составе поглощающего комплекса: необменный кальций входит в состав внутренних молекул этих остатков. Когда же поглощающий комплекс образуется синтетически из простых коллоидальных веществ, да еще в условиях сильной выщелоченности почвы, т. е. при очень низком содержании в почвенных водах иона кальция, естественно, что необменного кальция должно быть очень мало.

В почвах солонцеватых содержащийся в них обменный натрий, обусловливая особое положение этих почв среди всех остальных, отражается своеобразно и на процессах разрушения и формирования поглощающего комплекса этих почв. На процессах разрушения мы подробно остановим-

---

* Имею в виду исследование S. Mattson'а под общим заголовком «The Laws of Soil Colloidal Behaviour», шесть глав которого уже опубликованы в «Soil Sci.», 1929—1931.

ся ниже. Здесь нам важно отметить, что циркулирующие через солонцеватые почвы воды сильно обогащены коллоидально растворимым гумусом, кремнекислотой и полуторными окислами; эти воды во много раз богаче этими веществами, нежели воды оподзоливающихся почв; но условия для новообразования синтетического поглощающего комплекса несмотря на это в солонцеватых почвах менее благоприятны, нежели в подзолистых: как показали мои исследования действия перекиси водорода на почву, органическое вещество почв, содержащих обменный натрий, коллоидально растворяясь в воде, защищает коллоидальные растворы окиси железа и окиси алюминия от свертывания; поэтому коллоидальные растворы солонцовых почв, несмотря на значительно бóльшую их концентрацию по сравнению с таковыми у подзолистых почв, оказываются более устойчивыми и подвижными; коагуляция их происходит лишь по удалении из раствора той или иной части растворенного гумуса, т. е. в тех горизонтах, где для этого имеются соответствующие условия, например, где содержится углекислый кальций.

В отношении кремнекислоты, которую вода при действии на почву, содержащую поглощенный натрий, извлекает из алюмосиликатов также в большом количестве, растворенные в этой воде гуматы не оказывают защитного действия или оказывают это действие в более слабой степени; потому в солонцовых почвах, не защищенных от разрушения водой присутствием углекислого кальция (карбонатные солонцы) и содержащих достаточное количество гуматной части, коллоидально растворяющееся в циркулирующих водах вещество (гуматы, кремнекислота, гидраты окисей алюминия и железа) в дальнейшем разделяются; в месте извлечения (или поблизости) выпадает кремнекислота; сразу ли она переходит в грубозернистое состояние или через известный промежуток времени — неизвестно: но во всяком случае, в почвах (солодях) частички этой массы кремнекислоты обладают размерами бóльшими, чем коллоидальные, и эта кремнекислота поэтому попадает в механические фракции более крупные, нежели коллоидальная; участия в образовании поглощающего комплекса она не принимает. Что касается остальных коллоидально растворенных веществ (гуматов, гидратов окиси алюминия и железа),— то они вместе с водами уходят вниз или достигают грунтовых вод, или осаждаются на той или иной глубине, где появляются условия для осаждения гумуса или где воды настолько обогащаются электролитами, что гуматы оказываются уже неспособными защищать полуторные окиси (возможно, что вместе с остатками кремнекислоты) от свертывания; в таких местах происходит синтетическое новообразование поглощающего комплекса из продуктов, уносимых из верхних осолодевающих горизонтов почвы.

В солонцах малогумусных рассмотренный процесс вследствие слабого защитного действия гуматов должен протекать несколько иначе. Необходимо отметить, что послойный состав почвенного поглощающего комплекса в солонцеватых почвах еще почти не изучен.

В последнее время к исследованию коллоидальной глины и минерального поглощающего комплекса почвы стала применяться рентгенология (анализ Х-лучами); метод этот, несомненно, при достаточном его использовании может дать очень существенные результаты в деле изучения этого комплекса. Мы имеем три исследования, сделанные этим методом в глинах * и в выделенных из почвы коллоидах и бентонитах **. Всеми этими работами с несомненностью установлено кристаллическое состояние коллоидальных частиц почвенного поглощающего комплекса; таким образом, тут мы имеем экспериментальное подтверждение общего положения, так блестяще обоснованного теоретически и многочисленными экспериментальными данными фон Веймарном еще в 1908 г., что кристаллическое состояние есть единственное внутреннее состояние материи.

Отметим, что в числе найденных кристаллических минералов в почвенных коллоидах не обнаружено первоначальных минералов, имеющихся в более крупных фракциях, как-то кварца, полевого шпата, слюды; минералы поглощающего комплекса вторичны — каолинит, монтмориллонит, галлуазит и др., что совершенно понятно: величина этих кристалликов так ничтожна, что первичные минералы не могли сохраниться в неизменном состоянии и не подвергнуться выветривающему действию атмосферных агентов.

ХАРАКТЕР РЕАКЦИИ ВЗАИМНОГО ОБМЕНА МЕЖДУ КАТИОНАМИ ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА И ПОЧВЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Когда свойство почвы поглощать из жидкости растворенные в ней соединения и именно поглощать катионы, благодаря работам Thompson, Huxtable и в особенности Way, положившего начало учению о поглотительной способности почвы, стало известным, оно тотчас же обратило на себя внимание и стало изучаться, и не только потому, что практическое значение этого свойства почвы огромно, но и вследствие своей неожиданности. Было не понятно, каким образом может идти так легко и так быстро реакция между твердым телом и растворенным веществом. И действительно, с чисто химической точки зрения объяснить наблюдающийся обмен основаниями между почвою и раствором невозможно. Для этого нужно прибегнуть к совершенно неправдоподобному допущению; когда происходит реакция взаимообмена между углекислым кальцием (веществом твердым) и фосфорнокислым натрием

---

* *E. T. Wherry, C. S. Ross a. P. F. Kerr.* «Colloid Symposium Annual». 1929. v. 7, p. 191.

** *S. B. Hendricks a. W. H. Fry.* The results of X-ray and Microscopical examinations of soil colloids.— Soil Sci.; v. 29, 1930, N 6, p. 457.

W. P. Kelley, W. H. Dore a. S. M. Brown. The nature of the base exchange material of bentonite, soils and zeolites, as revealed, by chemical investigation and X-ray analysis.— Soil Sci., v. 31, 1931, p. 25.

(веществом в растворе), то химически ее мыслить не трудно: углекислый кальций несколько все-таки растворим в воде, особенно в присутствии CO_2; реакция и происходит между этим небольшим количеством находящегося в растворе $CaCO_3$ и растворенным фосфорнокислым натрием; она происходит вследствие того, что один из возможных продуктов реакции — $Ca_3(PO_4)_2$ — вещество еще более нерастворимое, чем углекислый кальций; образующийся фосфорнокислый кальций выпадает, часть иона Са исчезает таким образом из раствора, что вызывает растворение нового количества углекислого кальция, происходит новое выпадение фосфорнокислого кальция и т. д., одним словом, весь образующийся при этой реакции твердый фосфорнокислый кальций переходит через растворенное состояние, и весь углекислый кальций, вступивший в обмен с фосфорнокислым натрием, также должен был пройти через стадию раствора; другого толкования этой реакции не может быть.

Аналогичное допущение для случая: почва+раствор хлористого аммония,— чрезвычайно сложно и совершенно неправдоподобно; в почве имеется некоторый очень сложный алюмосиликатный (и гуматный) комплекс, содержащий кальций, способный к обмену; кальций этот замещается аммонием раствора; при химическом толковании этой реакции придется, значит, допустить, что этот сложный комплекс несколько растворился в воде, что тут в растворе произошла реакция взаимного обмена и выпал в твердом состоянии этот же комплекс в неизменном виде, но только с аммонием вместо кальция; тут мы прежде всего наталкиваемся на противоречие несомненному факту: почвенный комплекс с кальцием более трудно растворим, чем он же с аммонием; нет, значит, основания для выпадения; а затем совершенно невозможно представить себе, как это нужно сделать при химическом объяснении факта поглощения, чтобы весь получающийся в почве после обмена комплекс, содержащий аммоний вместо кальция, прошел бы через стадию раствора и остался бы в совершенно неизменном по сравнению с его родоначальником виде, за исключением только содержания в нем аммония вместо кальция. И скорость реакции обмена была бы в этом случае совершенно иной,— реакция требовала бы значительного промежутка времени.

В настоящее время, по крайней мере, нет надобности в таком мало убедительном и мало правдоподобном объяснении этого явления. Благодаря более глубокому познанию самой поглотительной способности и благодаря успехам коллоидальной химии мы можем теперь истолковать физико-химическую поглотительную способность гораздо проще и естественнее. Мы теперь знаем, что самые разнообразные реакции могут происходить не только между растворенными веществами, что они происходят и между твердой и жидкой фазами, но в этом случае лишь на поверхности соприкосновения этих фаз.

Слой жидкости, непосредственно примыкающий к поверхности твердого тела, приобретает вследствие поверхностного натяжения особые свойства; в нем происходит ряд явлений, не имеющих места в других частях жидкости: заряжение поверхности положительным или отрица-

тельным электричеством, разделение ионов, находящихся в растворе жидкой фазы со средоточием у поверхности твердого тела ионов, отрицательно или положительно заряженных, и с отталкиванием от поверхности ионов обратного знака (образование так называемого двойного электрического слоя на границе раздела твердой и жидкой фаз), появляется особая реакционная способность. Здесь имеется источник энергии для этих реакций, здесь имеется так называемая энергия поверхности, обязанная своим существованием силе поверхностного натяжения на границе соприкосновения твердой и жидкой фаз. Энергия эта пропорциональна величине поверхностного натяжения и величине поверхности твердой фазы, т. е. она равна произведению этих двух величин. Одна из этих величин — поверхностное натяжение в почвенных системах — выражается очень небольшими числами (около 75 *дин* на 1 *см*); поэтому, пока второй множитель — поверхность твердой фазы — сравнительно невелик, поверхностная энергия мала, и реакционная способность такой системы ничтожна.

Для пояснения допустим, что мы имеем дело с плотной горной породой, не пропускающей вовсе воды внутрь себя (случай твердого тела без «внутренней» поверхности); выветривающее действие воды на кубик с ребром в 1 *см* из такой породы будет ничтожно, водородный ион воды вытеснит с поверхности этого кубика лишь ничтожные следы оснований; обозначим это его действие через A: оно будет пропорционально имеющейся энергии поверхности во взятой системе (кубик+вода), а величина этой энергии в данном случае равна $6F$, где F — сила поверхностного натяжения, а 6 — удельная поверхность кубика (удельной поверхностью называется отношение поверхности твердой фазы к ее объему, т. е. в данном случае 6 $см^2$ к 1 $см^3$).

Допустим теперь, что наш кубик раздроблен на равные мелкие кубики с ребром, например, в 0,01 *мкм*; тогда при том же общем объеме удельная поверхность твердой фазы выразится величиной 6×10^6 (см. табл. на стр. 405), поверхностная энергия такой системы будет уже в 10^6 раз больше, чем в первом случае, и реакционная способность системы повысится вследствие этого раздробления в миллион раз — с величины A до величины 1 000 000 A. Если действие водородного иона воды в первом случае было неощутимо для наших способов исследования, то теперь оно и в отношении этих методов выразится очень рельефно. Процесс замены оснований во взятой породе на ее поверхности водородом, т. е. процесс выветривания породы, или, применительно к почвам,— процесс поглощения водородного иона с образованием почвы, не насыщенной основаниями, будет при таком состоянии раздробления очень энергичен.

Таким образом, если твердая фаза достаточно мелко распылена, то нет вовсе надобности в ее растворении для того, чтобы реакции с веществами жидкой фазы имели бы место и протекали достаточно энергично. Но такие реакции могут происходить только на поверхности частичек твердой фазы (если частички кроме внешней поверхности облада-

ют и внутренней, доступной для проникновения туда растворенного вещества, то реакция будет протекать и там; тогда может создаться впечатление реакции внутри твердого вещества); как раз мы и видели выше, что все соображения говорят за то, что реакция обмена между поглощенными катионами и катионами, находящимися в жидкой фазе, протекает лишь на поверхности почвенных частичек (стр. 441); это очень убедительный довод в пользу того, что при этих реакциях никакого предварительного растворения твердой фазы не происходит.

На систему «почва+вода» надо смотреть как на дисперсную систему, в которой по крайней мере некоторая часть частичек дисперсной фазы находится в такой степени дисперсности (степень дисперсности есть отношение поверхности дисперсной фазы к ее объему, т. е. она выражается тем же числом, что и удельная поверхность дисперсной фазы), что реакционная способность их с веществами в растворе достаточно высока, чтобы результаты ее могли быть констатированы приемами аналитической химии. Чем выше степень дисперсности почвы, чем мелкозернистее почва, чем больше в ней мельчайших частичек, тем и реакционная способность, а в частности физико-химическая поглотительная способность, будут выше.

Таким образом, в явлениях обменной поглотительной способности почвы существенную роль играет поверхностная энергия; эта же энергия, как выше мы видели, является причиной физической поглотительной способности почвы; но в последнем случае дело ограничивается лишь концентрацией (положительной или отрицательной) растворенного вещества в слое жидкости у поверхности почвенных частиц. В случае же обменной способности электролиты почвенного раствора вступают в химическую реакцию с молекулами, расположенными на поверхности почвенных частиц; возможность этой химической реакции обусловливается, с одной стороны, существованием поверхностной энергии, а с другой стороны, тем, что почвенные коллоидально раздробленные частички, будучи заряжены отрицательным электричеством, притягивают к своей поверхности катионы электролитов почвенного раствора, где эти катионы и вступают в реакцию обмена с катионами молекул, расположенных на поверхности частичек.

Поэтому эти обменные реакции в почве носят двойственный характер: это — процесс и физический и химический; вот почему этот вид поглотительной способности почвы, в отличие от других ее видов, мы назвали физико-химической поглотительной способностью, а так как в результате ее мы имеем обмен ионов между растворами и твердой фазой почвы, то эту способность по этому признаку можно назвать также обменной способностью.

РАЗМЕРЫ ПОЧВЕННЫХ ЧАСТИЦ, ОБЛАДАЮЩИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Как указывалось раньше, обменные реакции между поглощенными катионами почв, с одной стороны, и катионами солей раствора, с другой стороны, как реакции между твердыми частицами и веществами, находящимися в растворе, являются следствием существования особой энергии на поверхности соприкосновения этих двух фаз; величина этой энергии увеличивается постепенно с увеличением степени дисперсности твердой фазы.

Очень интересным теоретически и очень важным практически для оценки свойств почвы является вопрос о том, начиная с какого размера механических элементов почвы возникает у частиц способность к обменным реакциям; или иначе: существует ли резкая граница в величине механического элемента, до которой (т. е. при величине элементов, бóльших этой пограничной величины) обмена нет (или он совершенно ничтожен) и за которой сразу начинается резко выраженная обменная способность, или же такой границы нет, а величина емкости обмена механических элементов почвы растет постепенно, вместе с уменьшением диаметра механического элемента; или еще иначе: переходит ли тут количество (постепенное уменьшение диаметра механического элемента) в качество (обменная способность) вдруг, скачком, при достижении количеством определенного значения, или скачка нет, а есть непрерывное нарастание качества. Теоретические соображения (химический, минералогический состав механических фракций, современное представление о строении коллоидальной частички — мицеллы) и история вопроса заставляют меня признать первое. Но обратимся сначала к имеющимся экспериментальным данным по этому вопросу.

Таких данных имеется очень немного и их можно разбить на две группы. Во-первых, результаты исследований обменной способности различных механических фракций почвы, полученные при применении старых методов подготовки почвы к механическому анализу: эти методы, как мы знаем теперь, не дают чистых механических фракций тех размеров, которые им приписываются: более крупные фракции всегда получаются засоренными более мелкими и особенно коллоидальной фракцией. Во-вторых, мы дадим результаты новых исследований, в которых засорение, указанное выше, принято во внимание. Из результатов первой группы мы приведем данные И. П. Жолцинского и König'а.

В опытах И. П. Жолцинского с черноземом и подзолистой почвой с поглощением калия и аммония получились такие результаты:

Поглотились NH_3 и K_2O, в процентах от их первоначального количества:

Черноземом	57,65	69,98
Илом (фракция < 0,001 *мм*), выделенным из этого чернозема	88,67	76,13
Тем же черноземом, лишенным 43,1% содержавшегося в нем ила	53,98	63,71

Подзолистой почвой	24,28	18,93
Илом, выделенным из этого подзола	37,84	32,53
Тем же подзолом, лишенным 49,2% содержавшегося в нем ила	13,76	11,54

Частицы почвы мельче 0,001 *мм*, как видим, обладали значительно более высокой способностью к обмену своих поглощенных оснований на аммоний и калий; в почве же, лишенной части ила, эта способность заметно понижалась по сравнению с первоначальной почвой, но понижение это, по крайней мере при черноземе, выразилось значительно в меньшей степени, чем понижение количества ила в нем: удалена была почти половина количества ила, содержащегося в первоначальном черноземе (43%), поглотительная же способность в отношении, например, NH_3 понизилась всего лишь с 57,6 до 53,9%; очевидно, и частицы почвы крупнее 0,001 *мм*, выделенные Жолцинским из почвы, обладали физико-химической поглотительной способностью.

В работе König'а и Hasenbäumer'а, опубликованной в 1921 г., мы находим следующие данные по рассматриваемому вопросу. При воздействии на различные механические фракции суглинистой почвы раствором фосфорнокислого калия 100 *г* каждой фракции поглотили калия (в миллиграммах K_2O):

Фракции, *мм*	<0,002	0,002—0,01	0,01—0,05	0,05—0,1	0,1—0,25	0,25—0,5	0,5—1,0
K_2O, *мг*	597,2	337,6	249,6	117,6	23,2	3,2	1,6

По этим данным, поглотительной способностью по отношению к калию обладали все механические фракции почвы, но для фракций, начиная с 0,1 *мм* и выше, получились ничтожные величины; имея в виду самый способ исследования (количество поглощенного калия определялось по разности между содержанием его в 50 *см*^{3} раствора фосфорнокислого калия до и после воздействия последнего на фракции; это содержание в первоначальном растворе было 84,1 *мг* K_2O, а после воздействия, например, на фракцию 0,1—0,25 *мм* было найдено 81,2 *мг*; полученная разность могла быть всецело результатом погрешности анализа), можно на основании этих данных определенно говорить о способности поглощать лишь фракцией мельче 0,1 *мм*.

Подобный же результат получили названные исследователи и в отношении поглощения метил-виолета теми же фракциями. 100 *г* каждой фракции поглотили метил-виолета:

Фракция, *мм*	<0,002	0,002—0,01	0,01—0,05	0,05—0,1	0,1—0,25	0,25—0,5	0,5—1,0
Метилвиолет, *мг*	5800	1592	408	340	111	96	92

Относительно этого результата можно сказать то же, что и о поглощении калия, а именно: фракции мельче 0,1 *мм*, полученные König'ом, несомненно, обладали уже поглотительной способностью; что же касает-

ся фракций крупнее 0,1 *мм*, их способность поглощать этими исследованиями не доказывается ввиду малой величины полученных данных и недостаточной чувствительности применявшихся методов исследования.

Таким образом, имевшиеся до последнего времени исследования показывают, что заметное поглощение катионов происходит в почве не только коллоидально распыленной ее частью (частицы меньше 0,0001 *мм*), но что в этом процессе заметную роль играют и более крупные механические фракции почвы, частицы которых обладают размерами значительно большими, чем коллоидальные частицы, и что в развитии обменной способности механических элементов почвы размером меньше 0,1 *мм* с уменьшением диаметра частиц нет никакого скачка, а имеется непрерывное возрастание.

Когда было экспериментально доказано *, что предложенный мной способ насыщения емкости поглощения почвы натрием, вместе с тем, является и способом наиболее совершенного разделения неразбиваемых иначе микроструктурных элементов почвы, и было показано на примере глинистого чернозема, что без насыщения натрием при самом тщательном разделении механических элементов с обращением особого внимания на этот момент мы все-таки получали все механические фракции вплоть до (в моем исследовании) 0,0005 *мм* сильно засоренными более мелкими частичками, мне стало совершенно ясно, что базироваться на старых исследованиях зависимости величины обмена от величины частичек поглощающего материала совершенно невозможно, что они в этом отношении ничего не могут дать и что надо вопрос заново пересмотреть, поставив исследование над механическими фракциями почвы, в достаточной степени очищенными от более мелких частиц.

Такое исследование было предпринято мной совместно с Е. Н. Ивановой; оно еще полностью не закончено, так как очищение механических фракций от засоряющих их более мелких механических элементов, особенно ультрафракций, очень длительно, особенно если производить это со значительным количеством фракций; последние следы коллоидов, засоряющих мелкие частицы, даже при насыщении почвы натрием удаляются чрезвычайно долго, а эти следы как раз в результате решают дело; очистка, например, фракции 0,001—0,00025 *мм*, от коллоидальных частиц при 300 *г* этой фракции (при отмучивании в течение 21 дня) производится мной уже несколько лет и еще не закончена.

Перехожу к изложению тех результатов, которые уже получены в нашем совместном с Е. Н. Ивановой исследовании. Из суглинистого чернозема была выделена фракция 0,01—0,005 *мм* обычным механическим анализом, причем при этом выделении почва многократно растиралась в чашке в кашицеобразном состоянии каучуковым пестиком; такое повторное растирание продолжалось до тех пор, пока больше уже не появлялось частиц меньше 0,005 *мм*. В полученной таким образом фракции вы-

---

* *К. Гедройц.* Ультрамеханический состав почвы и зависимость его от рода катиона... — Журн. оп. агр., т. 22, 1921, стр. 29.

теснением хлористым аммонием было обнаружено 0,1184% поглощенного Ca и 0,0 поглощенного магния; таким образом, емкость поглощения у этой фракции оказалась 5,92 *мг-экв* на 100 *г* фракции.

Часть полученной фракции (0,01—0,005 *мм*) была насыщена натрием обработкой ее хлористым натрием и снова подвергнута отмучиванию; появились илистые частички (меньше 0,001 *мм*), которые сливались прочь, и появилась фракция 0,005—0,001 *мм*, которая собиралась; таким образом, фракция 0,01—0,005 *мм*, получаемая обычным механическим анализом, оказалась, как и нужно было ожидать, состоящей не только из механических элементов, но и из структурных отдельностей, содержащих более мелкие частички; под влиянием распыляющего действия поглощенного натрия структурные отдельности распылились, и в результате из этой фракции выделились фракции 0,005—0,001 *мм* и фракция меньше 0,001 *мм*.

Во фракции 0,10—0,005 *мм*, очищенной таким образом от более мелких механических элементов, была определена снова емкость поглощения, для чего она насыщалась барием, а затем барий вытеснялся обработкой соляной кислотой.

Вместо прежней величины емкости поглощения в неочищенной фракции, достигавшей 5,92 *мг-экв* на 100 *г* фракции, теперь было получено всего лишь 0,56 *мг-экв*, т. е. оказалось, что механические элементы диаметром 0,01—0,005 *мм*, когда в их среде не имеется микроагрегатов, почти вовсе не обладают физико-химической поглотительной способностью.

Такой же величины получилась и обменная способность очищенной фракции 0,05—0,01 *мм*, а именно ее емкость обмена была 0,59 *мг-экв* на 100 *г*.

Подобное же исследование было произведено с механической фракцией 0,005—0,001 *мм*, выделенной из того же чернозема. Выделение производилось также с многократным растиранием кашицеобразной почвы каучуковым пестиком для возможно полного удаления ила из фракции мелкой пыли. Так же, как и в предшествовавшем случае, часть полученной фракции 0,005—0,001 *мм* пошла на непосредственное определение поглощенных оснований вытеснением аммонием хлористого аммония, а другая часть для разрушения могущих быть в этой фракции микроагрегатов насыщалась натрием, после чего из нее отмучивались вновь появившиеся илистые частички. В очищенной таким образом фракции 0,005—0,001 *мм* определялась емкость поглощения насыщением барием и вытеснением его обработкой соляной кислотой.

Для фракции 0,005—0,001 *мм* неочищенной получились такие данные (в процентах от веса фракции и на 100 *г* фракции):

	%	*мг-экв*
Поглощенный Ca	0,928	46,4
» Mg	0,048	3,0
Емкость поглощения	—	49,4

Для той же фракции, очищенной от илистых частиц распылением ее агрегатов с помощью насыщения натрием, емкость поглощения упала с 49,4 до 14,6 *мг-экв*. Нужно иметь в виду, что очистка этой фракции не была доведена до конца.

Таким образом, механические элементы исследовавшейся почвы размерами 0,005—0,001 *мм* обладают заметно большей физико-химической поглотительной способностью, нежели элементы с диаметром 0,01—0,005 *мм*, но все-таки способность их к обменным реакциям, если принять еще во внимание засоренность этих элементов коллоидальными частицами, очень мала по сравнению со способностью к обмену всей почвы, которая в данном случае обладала емкостью поглощения около 50 *мг-экв* (в нераспыленном состоянии);

можно поэтому на основании данных этого опыта сказать, что обменная способность почвы сосредоточивается главным образом в илистой части почвы, что роль в физико-химическом поглощении остальных, более крупных фракций, ничтожна, а во фракциях начиная с диаметра 0,005 *мм* и больше,— практически обмена катионами уже нет.

Далее, нами была исследована емкость обмена выделенных мной из горизонта 80—100 *см* кубанского слитого чернозема трех фракций: 0,25—0,001 *мм*; 0,001—0,00025 и коллоидальной фракции (меньше 0,00025 *мм*). Эти фракции так же выделялись, как у предыдущей почвы, после насыщения чернозема натрием, а фракции 0,25—0,001 *мм*, кроме того, еще раз очищались вторичным насыщением натрием и самым тщательным отмучиванием после в воде, хотя опять-таки должен указать, что по самому ходу отмучивания было видно, что илистые частицы все-таки еще остались во фракции; достичь вполне прозрачных сливаемых вод не удалось; небольшая муть еще оставалась, а даже небольшая муть при малой навеске промываемой фракции указывает на ощутимое загрязнение.

Фракция 0,001—0,00025 *мм* была пущена в анализ без вторичного очищения и, несомненно, содержала еще коллоидальную фракцию. Результат определения в этих фракциях обменной емкости получился следующий (на 100 *г* каждой фракции):

Фракция, *мм*	Емкость обмена, *мг-экв*
0,25—0,001	2,76
0,001—0,00025	37,20
$<$0,00025	69,90

Фракция 0,25—0,001 *мм* показала ничтожную емкость обмена; но если принять во внимание, что в ней содержание фракции 0,005—0,001 *мм* равнялось всего 16,7%, а остальные 73,3% составляли более крупные частицы (0,25—0,005 *мм*), которые по ранее описанному опыту с суглинистым черноземом имели всего около 0,5 *мг-экв* емкости обмена, то по

приблизительному подсчету найдем, что фракция 0,005—0,001 *мм* обладала в этом исследовании довольно значительной емкостью обмена, около 15 *мг-экв,* т. е. у этой фракции кубанского чернозема получилась примерно та же емкость обмена, что у фракции тульского чернозема предшествовавшего опыта. Подколлоидальная фракция (0,001—0,00025 *мм*) обнаруживала очень значительную способность к обменным реакциям.

Приведенные данные наших исследований с применением хотя и не полного очищения фракций от более мелких частиц, но во всяком случае, со значительно более чистыми механическими фракциями, во-первых, совершенно изменяют то заключение, которое вытекало из старых исследований. Теперь о поглотительной способности частиц больше 0,005 *мм* говорить уже не приходится. Наши данные определенно показывают, что почвенные механические фракции с диаметром частиц больше 0,005 *мм* обменной способностью не обладают, что размер 0,005 *мм* является границей между механическими элементами, не обладающими и обладающими обменом; элементы с бóльшим диаметром к обмену неспособны; способность к обмену появляется лишь у элементов с меньшим диаметром.

Далее, эти исследования показывают, что кроме этой резкой границы существует еще вторая, не так резко выраженная, а именно 0,00025 *мм* — размер диаметра, соответствующий началу коллоидальной фракции; между первой и второй границей находится механическая фракция 0,005—0,00025 *мм* (фракция мелкой пыли плюс подколлоидальная фракция), которая, судя по приведенным данным, уже обладает обменной способностью, но сравнительно в слабой степени; механические фракции более крупные обменом не обладают; механическая же фракция меньших размеров, т. е. коллоидальная, обладает уже резко выраженной способностью к обмену своих катионов.

Должен здесь опять подчеркнуть, что очень небольшое засорение какой-либо фракции, более крупной, чем коллоидальная, коллоидальными частицами и особенно засорение переходной фракции (0,005—0,00025 *мм*) может быть причиной констатирования у нее обменной способности; так например, в нашем опыте фракция 0,001—0,00025 *мм* дала сравнительно высокую емкость обмена; в исследовавшейся почве ее содержалось всего 4%, коллоидальной же — 61%; если из всей массы коллоидальной фракции при ее выделении из почвы остался в промежуточной фракции всего 1% от веса почвы (да если еще сделать очень вероятное допущение, что оставшаяся часть коллоидов, очень основательно приклеившаяся к более крупной фракции, должна быть очень высокодисперсной частью коллоидальной фракции), что составляет 20% от выделенной таким образом нечистой промежуточной фракции, то будет вполне понятно, что значительная доля обмена, обнаруженная у промежуточной фракции, принадлежит имевшейся в ней примеси. А что в почве после удаления из нее коллоидальной фракции даже при самой тщательной работе с большими количествами почвы не осталось 1—2% коллоидов, никакой уверенности быть, конечно, не может.

Поэтому я считаю, что из наших исследований, показавших, что вывод, который приходилось делать из старых данных о зависимости обмена от крупности частиц, неверен, и неверен потому, что выделенные фракции были недостаточно чисты, можно сделать второе, очень существенное заключение, а именно, что существование отмеченных выше двух границ есть результат того, что и наши фракции были загрязнены коллоидальными частицами, но только в меньшей степени, чем у прежних исследователей; что на самом деле существуют не две, а лишь одна граница, один размер диаметра механических элементов, а именно около 0,00025 *мм*; что механические элементы с диаметром выше этой величины обменом не обладают; что таковая способность появляется только у элементов с меньшим диаметром; иначе говоря, что обменная способность присуща только коллоидальной фракции.

ФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА И ЗАВИСИМОСТЬ ЕГО ОТ РОДА НАСЫЩАЮЩЕГО ЕГО КАТИОНА

Необходимо различать физическое состояние поглощающего комплекса при сухом состоянии почвы и при достаточном ее увлажнении. Так как поглощающий комплекс представляет собой совокупность коллоидально раздробленных органических и минеральных почвенных частиц, т. е. механическую фракцию, находящуюся по величине своих частиц на границе между фракциями более грубой дисперсности и молекулярным раздроблением, то частицы поглощающего комплекса обладают двумя свойствами, обусловливающими физическое состояние этого комплекса в сухой почве, а именно:

1) заметно выраженным молекулярным притяжением одна к другой, а также к частицам других механических фракций; конечно, это молекулярное притяжение не одинаковой величины у различных частиц поглощающего комплекса, так как оно тем больше, чем мельче частица, а поглощающий комплекс как коллоидальная механическая фракция почвы может состоять из частиц с диаметром начиная от 0,1 *мкм* и до 1,5 *мкм*; но во всяком случае уже и у наиболее крупной части коллоидальной фракции почвы молекулярное притяжение настолько велико, что оказывает значительное влияние на физическое состояние поглощающего комплекса;

2) способностью свертываться под влиянием электролитов почвенного раствора.

Эти два свойства являются причиной того, что в сухой почве коллоидальный ее комплекс находится не в виде отдельных частиц, а является цементирующим веществом, склеивающим другие почвенные фракции в структурные отдельности той или другой величины, обладающие той или иной прочностью.

Способность поглощающего комплекса цементировать и образовывать структурные элементы будет находиться в зависимости прежде всего от

процентного содержания в почве этого комплекса; ясно, что чем его больше будет в почве, тем при прочих равных условиях и цементирующая почву способность будет резче выражена. Далее, эта способность будет зависеть от механического состава поглощающего комплекса, или, иначе можно сказать, от ультрамеханического состава почвы: чем больше будет в поглощающем комплексе высокодисперсной части коллоидальной фракции и чем относительно меньше будет низкодисперсной части, тем выше будет клеящая способность поглощающего комплекса, а вместе с тем и цементирующая способность почвы. Зависит цементирующая способность почвы также от механического состава и неколлоидальной части почвы.

Но и у одной и той же почвы при неизменной величине ее поглощающего комплекса и неизменяющемся его механическом составе цементирующая способность почвы, ее структурность, может быть различной и в отношении величины структурных отдельностей, и в отношении их прочности, так как все свойства поглощающего комплекса, а в том числе и рассматриваемые здесь физические свойства, обусловливающие его физическое состояние, находятся в зависимости от того, какими катионами этот комплекс насыщен.

Для выяснения этого весьма существенного вопроса остановимся на нормальном черноземе, не засоленном, не солонцеватом и не деградированном; в таком черноземе поглощающий комплекс, как мы видели, почти целиком насыщен одним только катионом, а именно кальцием, количество поглощенного магния в нем может быть совершенно ничтожно. Для упрощения изложения мы будем считать в дальнейшем, что во взятом нами образце чернозема поглощенного магния вовсе нет.

В таком черноземе, вследствие отсутствия легкорастворимых солей и вследствие вытесняющей деятельности водородного иона воды, в почвенном растворе всегда будет содержаться углекислый кальций; жидкость, окружающая почвенные частички, будет поэтому богата ионами кальция, обладающими высокой коагулирующей способностью; поэтому почвенные коллоиды будут находиться в такой почве в свернутом состоянии даже тогда, когда почва будет сильно влажной; часть их пристанет к поверхности более крупных механических элементов, а часть их склеит неколлоидальные механические элементы в структурные отдельности; *в таком состоянии в почве уже не будет отдельных коллоидальных частиц, а будут микроструктурные отдельности, агрегаты.*

Когда такая почва высохнет, то микроструктурные ее элементы склеятся между собой и дадут уже более крупные, макроструктурные отдельности, которые, однако, не могут быть особенно крупных размеров и вот почему. Если мы назовем отдельные коллоидальные частички поглощающего комплекса первичными частичками, а образованные ими микроструктурные отдельности вторичными частичками, то, очевидно, клеящая способность этих вторичных частичек будет уже значительно меньше, чем у первичных частичек, так как величина вторичных частичек значительно больше, чем величина первичных частичек. Опыт показывает, что в рассматриваемом случае, т. е. у черноземов, насыщен-

ных только кальцием и не содержащих засоляющих почву солей, получается так называемая зернистая структура, с величиной зерна от одного до нескольких миллиметров в диаметре, в зависимости от процентного содержания в почве поглощающего комплекса и механического и ультрамеханического состава почвы.

Возьмем теперь другой из крайних встречающихся в природе случаев. А именно возьмем солонец, и такой, в котором поглощенным катионом служит один лишь натрий, т. е. возьмем почву, насыщенную натрием. Допустим, что в отношении процентного содержания в ней поглощающего комплекса, а также механического и ультрамеханического состава эта почва совершенно тождественна с ранее рассмотренным черноземом. Или, для большей определенности, образуем сами солонец из выше рассмотренного чернозема, обработав его раствором хлористого натра до полной замены его поглощенного кальция на натрий и удалив затем полностью из него хлориды.

У такой почвы, насыщенной натрием, в почвенном растворе не будет уже иона кальция, как это имело место в черноземе, а будет ион натрия и никаких других катионов. Ион натрия, так же как и катион кальция, будет стремиться свернуть коллоидальные частички (первичные частички) и образовать агрегаты (вторичные частички), но, во-первых, свертывающая сила натрия, как мы видели раньше, значительно слабее коагулирующей способности кальция; во-вторых, и катион кальция в почвенном растворе чернозема, и катион натрия в почвенном растворе солонца связаны с анионами CO_3 и OH (последний появляется вследствие гидролиза углесолей кальция и натрия), но концентрация гидроксильного иона в солонце будет выше, чем в черноземе, ибо гидролитическая диссоциация соды сильнее, нежели двууглекислого кальция, а главное, *стабилизирующее действие гидроксильного иона значительно выше осаждающего действия катиона натрия* (всюду имею в виду отрицательный заряд почвенных коллоидов), *но слабее осаждающего действия катиона кальция* (см. выше); поэтому в черноземе имеющийся там стабилизатор (OH) не мог воспрепятствовать образованию вторичных частичек, между тем как в солонце этот анион лишает катион натрия возможности свертывать первичные коллоидальные частички во вторичные частички.

Таким образом, в солонце, содержащем из поглощенных катионов только лишь натрий и не содержащем хлоридов и сульфатов (т. е. в так называемом чистом солонце), при достаточном его увлажнении весь поглощающий почвенный комплекс будет находиться не в свернутом состоянии, а в виде отдельных, не связанных между собой коллоидальных частиц, в виде первичных частиц *. При высыхании такого солонца первичные коллоидальные частицы, обладая большой клеящей силой вследствие

* Должен оговориться, во избежание недоразумения: у нас нет никаких данных, чтобы утверждать, что в чистом солонце, не содержащем вовсе сульфатов и хлоридов, коллоидальные частички в действительности представляют собой уже механические элементы, а не очень мелкие их агрегаты; иначе говоря, что полное насыщение почвы натрием вызывает распыление почвенных микроагрегатов до

своей мелкости, будут цементировать большие участки почвы, образуя крупную и прочную структуру.

Мои исследования влияния различных металлов как поглощенных катионов в почве на способность почвы в сухом состоянии давать структурные элементы той или другой величины и той или другой прочности показывают, что однозначные катионы NH_4 и K в этом отношении приближаются к натрию, но структурность, вызываемая присутствием их в почве в виде поглощенных оснований, несколько мельче и несколько менее прочна (в сухом состоянии), причем аммоний ближе стоит к натрию, нежели калий. Двузначные катионы более высокого атомного веса, нежели кальций (Sr, Ba), находясь в почве в поглощенном состоянии, обусловливают структурность ее, близкую к той, какая бывает у почвы, насыщенной кальцием (т. е. мелкозернистую); двузначный же магний в рассматриваемом отношении занимает промежуточное положение между металлами щелочными и щелочноземельными; если структурность, присущую солонцам, т. е. почвам, содержащим поглощенный натрий, назвать солонцеватой структурностью, а структурность нормальных черноземов, почти целиком насыщенных кальцием — черноземной структурностью, то можно сказать, что катионы однозначные (Na, NH_4, K), насыщая почвенный поглощающий комплекс, вызывают в почве солонцеватую структуру, а двузначные катионы Ca, Ba, Sr — черноземную структуру; поглощенный же магний обусловливает у почвы промежуточную структурность.

Перейдем теперь к рассмотрению действия воды на почвы, насыщенные различными катионами и имеющие поэтому, как мы видели, выше, различную структурность. Приведу прежде всего данные механического анализа горизонта 80—100 *см* кубанского слитого чернозема; почва сильно глинистая; содержание гумуса — около 1%; состав поглощенных катионов: Ca — 0,541%, Mg — 0,133%; K — 0,027%, Na — 0,006%, H — 0,0%. Механический анализ производился по методу Вильямса в почве первоначальной и в почве, предварительно полностью насыщенной натрием, с полным последующим удалением хлоридов. Таким образом, анализировалось два образца: один представлял собой образец черноземной почвы (первоначальная почва), а другой — образец чистого солонца, содержащий в своем поглощающем комплексе только поглощенный натрий (почва, насыщенная натрием), а во всем остальном ничем не отличавшийся от первоначальной почвы. При механическом анализе для усиления разрушения водой почвенных микроагрегатов применялось только лишь повторное растирание почвы с водой при отмучивании каучуковым пестиком.

первичных механических элементов; поэтому под термином «первичные коллоидальные частички» я вовсе не подразумеваю непременно истинные механические элементы, а указываю лишь, что это частицы меньшей величины, нежели вторичные частицы, и что они являются элементами, из которых уже слагаются вторичные частички. Эти первичные частички могут быть в свою очередь уже агрегатами, и если бы в этом была уверенность, то их точнее было бы назвать первичными агрегатами.

В этом опыте, таким образом, мы имеем учет распыляющего действия воды при многократной обработке ею почвы, содержащей в поглощающем комплексе почти исключительно только поглощенный кальций (почва первоначальная), и почвы, содержащей исключительно только поглощенный натрий (та же почва, но насыщенная натрием). Вот данные этого анализа.

Процентное содержание (на сухую почву) механических фракций

Почва	Фракции, *мм*			
	0,25—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001
Кубанский чернозем, гор. 80—100 *см*, почва первоначальная	15,2	26,3	15,8	39,9
Тот же образец, предварительно насыщенный натрием	13,0	19,2	5,6	59.8

Приведенные данные показывают, что механический[1] состав почвы оказался в значительной степени зависимым от того, какой катион, кальций или натрий, насыщает поглощающий комплекс. Так как при производившемся анализе не могло быть разрушения самих механических элементов, то приходится заключить, что в том и другом случае вода не в одинаковой степени могла разбивать имевшиеся в почве мелкие агрегаты механических элементов; так как почва, насыщенная натрием, дала значительно больше самой мелкой фракции (илистой, меньше 0,001 *мм* в диаметре), нежели почва, насыщенная кальцием (в первом случае имеем 59,8% илистой фракции, а во втором — всего 39,9%), то отсюда непосредственно следует, что почва, насыщенная натрием, более доступна распыляющему действию воды, нежели почва, насыщенная кальцием.

Анализ показывает, далее, что увеличение в почве, насыщенной натрием, илистой фракции произошло за счет фракции средней пыли (в почве, насыщенной кальцием, ее 26,3%, а в почве, насыщенной натрием, всего 19,2%) и особенно за счет фракции мелкой пыли (в почве, насыщенной кальцием,— 15,8%, а в почве, насыщенной натрием, всего — 5,6%). Очевидно, что в этих двух фракциях, выделенных при механическом анализе первоначальной почвы, кроме механических элементов размерами 0,01—0,005 и 0,005—0,001 *мм* содержались также агрегаты илистых частиц, которые вода не была в состоянии разбить, распылить; когда почву насытили натрием вместо кальция, вода расклеила агрегаты, а освободившиеся из них илистые частицы перешли во фракцию меньше 0,001 *мм*.

---

[1] Поясним, что К. К. Гедройц в этом случае имеет в виду не механический, а микроагрегатный состав почвы.— *Прим. ред.*

С теми же двумя образцами кубанского чернозема (горизонт 80—100 *см*), т. е. с первоначальным, насыщенным кальцием, и с насыщенным натрием, был произведен механический анализ илистой фракции с целью сравнения механического состава их илистой фракции и изучения влияния на него рода поглощенного катиона.

В нижеследующей таблице мы приведем результат этого исследования, выраженный для каждого исследовавшегося образца в процентах от веса всей почвы (сухой) и в процентах от веса всей илистой фракции.

Механический состав илистой фракции

	Содержание в почве всей илистой фракции, %	Процентное содержание частиц, *мкм*					
		1—0,54	0,54—0,40	0,40—0,28	0,28—0,22	<0,22	сумма
1. Почва первоначальная (насыщенная Са)							
% от веса всей почвы	39,9	10,6	20,8	4,0	1,2	1,3	37,9
% от веса всего ила	—	26,6	51,9	10,0	3,0	3,3	—
2. Почва, насыщенная натрием							
% от веса всей почвы	59,9	2,6	4,3	3,2	1,8	45,3	57,2
% от веса всего ила	—	4,5	7,3	5,6	3,1	79,2	—

Как видим, насыщение почвы натрием вместо кальция вызвало не только увеличение количества выделенного ила, но изменило также и механический состав ила. Принимая, что высший размер коллоидальных частиц 0,22 *мкм* и что поглощающий комплекс почвы как раз и представляет коллоидальную часть почвы, можно было бы на основании вышеприведенного механического состава первоначального образца горизонта 80—100 *см* кубанского чернозема заключить, что в нем почти вовсе не содержится поглощающего комплекса, так как механический анализ дал всего 1,3% коллоидальных частиц от веса почвы (частицы диаметра меньше 0,22 *мкм*), или 3,3% от веса всей илистой фракции.

Такое заключение было бы, однако, как показывают данные механического анализа того же образца, но насыщенного натрием, совершенно неправильным; эти данные показывают как раз обратное: образец оказывается очень богат коллоидальной частью; в нем найдено 45,3% от веса почвы частиц меньше 0,22 *мкм*, т. е. почти половина почвы находится в коллоидальном раздроблении; в отношении же илистой фракции, т. е. всей суммы частиц меньше 0,001 *мм*, коллоидально распыленных частиц оказалось 79%.

Так как имеется полное основание утверждать, что в процессе насыщения почвы натрием посредством промывания ее раствором хлористого

натра не могло произойти сколько-нибудь заметного раздробления истинных механических элементов почвы, то остается лишь допустить, что коллоидальная часть такой величины, какая была обнаружена в исследовавшемся образце кубанского чернозема, насыщенного натрием, была и в первоначальном образце, но только в последнем, в его сухом состоянии, она находилась в виде агрегатов, настолько прочно связанных, что вода в процессе механического анализа почти не распыляла их; в почве же, насыщенной натрием, вода оказалась в состоянии нарушить эту связь и распылить мелкие комочки до коллоидальных частиц; главная масса илистой фракции в первоначальной почве состояла из фракций 1—0,54 и 0,54—0,40 *мкм* (78,9% от веса илистой фракции), в почве же, насыщенной натрием, этих двух фракций осталось всего лишь 11,8%; остальное оказалось не механическими элементами, а микроструктурными отдельностями (вторичными частичками) и было водой распылено после насыщения натрием до коллоидальных размеров.

Таким образом, распыляющее действие воды на почву, насыщенную натрием (ее способность расклеивать комочки), оказалось гораздо сильнее, нежели на ту же почву, насыщенную кальцием; так как различие между этими двумя образцами почвы заключается только лишь в том, что в одном случае поглощенным катионом является натрий, а в другом кальций, то очевидно, неодинаковое действие воды на эти образцы почвы приходится приписать именно этому обстоятельству; можно поэтому сказать, что поглощающий почвенный комплекс, или, что то же, коллоидальная часть почвы, в состоянии насыщения кальцием в гораздо большей степени сопротивляется распыляющему действию воды, нежели в том случае, когда поглощенным катионом служит натрий. Поглощающий комплекс почвы, насыщенной натрием, дает с водой как дисперсионной средой высокодисперсную систему, с частицами, распыленными до коллоидальных размеров, тогда как этот же комплекс с кальцием как поглощенным катионом дает с водой грубодисперсную систему, с прочными агрегатами коллоидальных частиц.

В связи с физическим состоянием увлажненного поглощающего комплекса почвы в зависимости от того, насыщен ли он кальцием (грубодисперсная система, вторичные частички) или натрием (высокодисперсная система, первичные частички), находится и целый ряд других особенностей почв, насыщенных кальцием и насыщенных натрием; все эти особенности можно охарактеризовать общим положением: *почва, поглощающий комплекс которой насыщен кальцием, и почва, поглощающий комплекс которой насыщен натрием, имеют разную степень коллоидальности*; первая из означенных почв значительно менее коллоидальна, нежели почва с поглощающим комплексом, насыщенным натрием.

Очень интересны различия водных свойств у таких двух почв. Вот, например, сравнительная способность этих почв удерживать воду. Следующий опыт дает ясное представление об этом различии. В два цилиндра емкостью в 200 *см*^{3} помещалось по 20 *г* кубанского чернозема горизонта 80—100 *см*. В один из цилиндров (1) была прилита вода до черты

200 *см*^{3}; цилиндр взболтан и оставлен в покое. Во втором цилиндре почва многократно обрабатывалась нормальным раствором хлористого натрия до полного удаления из него поглощенного кальция и замены его и магния поглощенным натрием. Затем почва в этом цилиндре (2) промывалась от хлоридов декантацией, для чего каждый раз цилиндр дополнялся водой до черты 200 *см*^{3} и после отстаивания прозрачная вода сливалась. Когда концентрация хлор-иона в наполненном цилиндре упала до 0,02 н., мутная жидкость перестала отстаиваться, тогда цилиндр был оставлен в покое. Через 6 с лишком месяцев вид этих цилиндров был следующий.

Цилиндр № 1 с первоначальной почвой. Почва, насыщенная водой, занимала в нем объем 29 *см*^{3}; высота столба почвы— 3,5 *см*, над ней почти совершенно прозрачная вода, лишь со слабой опалесценцией, высотой в 18,5 *см*. Количество удерживаемой в почве воды около 70% (весовых).

Цилиндр № 2 с почвой, насыщенной натрием. Почва с удержанной ею водой занимала почти весь объем цилиндра, а именно 185 *см*^{3}; высота столба ее — 21,5 *см*; над почвой столбик прозрачной жидкости высотой в 1 *см*. На самом дне цилиндра слой крупнозернистой почвы толщиной около 2 *см*; весь же остальной столб почвы представлял однородную густую, вязкую, как бы застывшую жидкость, верхний уровень которой не изменялся при наклоне цилиндра. Через два с половиной года в почве одного из цилиндров (2) было определено содержание связанной с почвой воды; оно оказалось равным 897% от веса почвы. В настоящее время, т. е. через семь с половиной лет после постановки этого опыта, картина осталась почти та же; объем, занимаемый застывшей почвой с водой, уменьшился всего лишь на 5 *см*^{3}, занимая в цилиндре 180 *см*^{3}.

Таким образом, вследствие замены поглощенного кальция натрием изменилась консистенция почвы; почва превратилась в вязкий, сильно набухший гель с водоудерживающей способностью, больше чем в десять раз превышающей водоудерживающую способность первоначальной почвы. Каждая коллоидальная частица почвы вследствие молекулярных сил притяжения оказалась окруженной толстым слоем крепко связанной с ней воды; общий объем этой воды, прочно связанной с почвенными частицами, в 9 с лишним раз был больше, чем объем сухой почвы; в слое почвы в цилиндре частицы почвы прилегали не непосредственно друг к другу, а своими водными оболочками. Связь этой воды с почвенными частичками была настолько крепкой, что почва, перемещенная из цилиндра на фильтр из бумаги № 602, не фильтровала вовсе. Для того, чтобы вытолкнуть из почвы связанную с ней воду, нужно было налить на воронку с почвой высокий столб воды.

Понятно поэтому, что водопропускающая способность почв (водопроницаемость), насыщенных натрием (солонцы), значительно ниже, нежели почв, насыщенных кальцием; в связи с этим находится склонность солонцовых почв к заболачиванию.

Таково различие в физическом состоянии поглощающего комплекса и связанное с ним различие в физических свойствах почвы, обусловливаемое тем, какой катион, кальций или натрий, находится в почве в поглощенном состоянии. Посмотрим теперь, как в этом отношении влияют другие катионы. Вот наши опыты, иллюстрирующие это влияние.

1. В несслеровские цилиндры емкостью в 100 *см*^{3} с одинаковым диаметром помещалось по 20 *г* кубанского чернозема горизонта 80—100 *см*. В один из цилиндров приливалась вода до черты 100 *см*^{3}; почва взбалтывалась и оставлялась после этого в покое — цилиндр № 1. В другие цилиндры вместо воды приливались растворы:

В цилиндр	№ 2 — 1,0 н.	хлористый	натрий
»	№ 3 — 1,0 н.	»	аммоний
»	№ 4 — 1,0 н.	»	калий
»	№ 5 — 1,0 н.	»	магний
»	№ 6 — 1,0 н.	»	кальций
»	№ 7 — 1,0 н.	»	барий
»	№ 8 — 1,0 н.	»	алюминий
»	№ 9 — 1,0 н.	хлорное железо	
»	№ 10 — 0,05 н.	соляная кислота	

После полного просветления жидкости во всех цилиндрах сливались прочь сифонами, и почвы в цилиндрах снова обрабатывались теми же растворами (или чистой водой) до полной замены естественных поглощенных катионов катионом обрабатывающего раствора. После этого производилось промывание почв в цилиндрах декантацией водой для удаления хлоридов. В цилиндрах 5, 6, 7, 8, 9 и 10 таким промыванием удалось удалить весь хлор-ион; в цилиндрах же 2, 3 и 4 промывания до конца провести не удалось, так как почва в них перестала оседать; в них осталось немного хлор-иона.

В результате такой обработки были получены 10 цилиндров с кубанским черноземом, почва которых стала насыщенной различными катионами, а именно:

Цилиндр	№ 1,	почва	насыщена	Ca и Mg (естественная)
»	№ 2,	»	»	Na
»	№ 3,	»	»	NH_4
»	№ 4,	»	»	K
»	№ 5,	»	»	Mg
»	№ 6,	»	»	Ca
»	№ 7,	»	»	Ba
»	№ 8,	»	»	Al
»	№ 9,	»	»	$Fe^{\cdot\cdot\cdot}$
»	№ 10,	»	»	H

Когда обработка всех почв была закончена, содержание воды во всех цилиндрах было уравнено (до черты 100 *см*^{3}), цилиндры тщательно взбол-

таны и оставлены на 24 часа в покое. По прошествии этого времени из середины каждого цилиндра пипеткой было взято по 10 *см*³ жидкости, помещено во взвешенные платиновые чашечки, выпарено и взвешено. Вот результаты этого определения:

Сухой остаток в 10 *см*³ жидкости из цилиндров после 24 часов их стояния

№ цилиндра	Поглощенный катион	Сухой остаток, *г*	№ цилиндра	Поглощенный катион	Сухой остаток, *г*
1	Ca и Mg	0,190	6	Ca	0,195
2	Na	1,980	7	Ba	0,011
3	NH_4	0,716	8	Al	0,000
4	K	0,319	9	$Fe^{\cdot\cdot\cdot}$	0,000
5	Mg	0,365	10	H	0,232

Высота жидкости в цилиндрах над почвой была около 10 *см*; таким образом, в данном опыте частицы, оставшиеся висеть в жидкости, имели размеры меньше 0,001 *мм*, т. е. представляли собой илистую фракцию. Опыт показал, что род насыщающего почву катиона оказывает очень сильное влияние на количество илистой фракции, получаемой при отмучивании почвы водою, или что распыляющее действие воды до размеров илистой фракции находится в тесной зависимости от рода поглощенного катиона. Когда почва была насыщена железом и алюминием, то илистой фракции не оказалось вовсе; почвенные агрегаты склеились настолько сильно, что вода не была в состоянии распылить их; эти катионы, насыщая почву, создавали в ней микроструктуру, наиболее прочную в отношении распыляющего действия воды, нежели все остальные исследовавшиеся катионы.

Следующее место по прочности создаваемой микроструктуры занимает барий; почва, насыщенная им, дала с водой лишь ничтожные количества илистой фракции. Далее идут кальций и кальций с небольшой примесью магния (естественная почва).

Все остальные исследованные катионы (Na, NH_4, K, Mg и H), находясь в почве в поглощенном состоянии, создавали в ней лучшие условия для распыляющего действия воды по сравнению с теми, какие были в первоначальной почве; распыляющее действие воды при насыщенности почвы этими катионами было сильнее, нежели при насыщенности кальцием; структурные элементы в почве, насыщенной этими катионами, оказались менее прочными и легче разрушались водой.

Магний и здесь занимает промежуточное положение между щелочными и щелочноземельными металлами, придавая почве такую же примерно сопротивляемость разрушающему действию воды, как и калий. Из всех исследованных катионов поглощенный натрий занимает особое положение; он наиболее сильно понижает сопротивляемость поглощающего комплекса почвы распыляющему действию воды; та структура, которую он создает в с у х о й п о ч в е и которая в этом сухом состоя-

нии наиболее прочная по сравнению со структурой, создаваемой в сухой же почве другими поглощенными катионами, оказывается наименее прочной в отношении действия воды.

Все исследованные катионы по их влиянию в качестве поглощенных катионов на сопротивляемость поглощающего почвенного комплекса распыляющему действию воды, поскольку оно проявляется учетом илистой фракции, располагаются в нижеследующем порядке (в порядке возрастающего влияния): Na, NH_4, K и Mg, H, Ca, Ba, Al, Fe.

2. Подобный же опыт с той же почвой и с теми же поглощенными катионами был проведен с учетом частиц, не оседающих в течение семи дней (диаметр этих частиц около 0,4 *мкм*). Результат получился следующий.

Сухой остаток в 10 *см*³ жидкости из цилиндров после их 7-дневного стояния

№ цилиндра	Поглощенный катион	Сухой остаток, *г*	№ цилиндра	Поглощенный катион	Сухой остаток, *г*
1	Ca и Mg	0,020	6	Ca	0,014
2	Na	1,921	7	Ba	0,001
3	NH_4	0,446	8	Al	0,000
4	K	0,176	9	$Fe^{\cdots}$	0,000
5	Mg	0,025	10	H	0,020

3. Приведу, наконец, данные, полученные при стоянии в покое цилиндров в течение семи месяцев; не осевшие в этом случае частицы являются уже коллоидальными и отличаются высокой степенью дисперсности.

Сухой остаток в 10 *см*³ жидкости из цилиндра после 7-месячного стояния

№ цилиндра	Поглощенный катион	Сухой остаток, *г*	№ цилиндра	Поглощенный катион	Сухой остаток, *г*
1	Ca и Mg	0,000	6	Ca	0,000
2	Na	1,862	7	Ba	0,000
3	NH_4	0,140	8	Al	0,000
4	K	0,040	9	$Fe^{\cdots}$	0,000
5	Mg	0,000	10	H	0,016

В двух последних опытах в общем порядок поглощенных катионов по их влиянию на распыляющее действие воды сохраняется тот же, что и в первом опыте; исключение представляет магний; оказывается, что этот элемент как поглощенный катион сравнительно сильно способствует (сильнее несколько даже калия) грубодисперсному распылению водой поглощающего комплекса, давая относительно много илистой фракции, но эта илистая фракция с крупными сравнительно вторичными частицами

дальше водой не распыляется и не дает вовсе частиц коллоидальных размеров; в последнем отношении магний действует слабее даже поглощенного водорода.

Отметим, что тот порядок, в котором располагаются поглощенные катионы по их влиянию на сопротивляемость распыляющему поглощающий комплекс действию воды, тот же, в каком эти катионы располагаются по их осаждающей способности и по энергии их поглощения и вытеснения: во всех трех случаях имеется прямая зависимость от величины значности катиона и от величины его атомного веса, причем во всех трех случаях имеют место одни и те же исключения из этой общей зависимости (катионы NH_4 и H).

Влияние рода поглощенного катиона на распыление водой поглощающего комплекса почвы сказывается и на минеральной, и на органической его частях. По-видимому, общее направление этого влияния и порядок, в котором располагаются различные катионы по интенсивности этого влияния, одни и те же для обеих этих частей поглощающего комплекса и именно таковы, как они описаны нами выше, для поглощающего комплекса в целом.

В вышеописанных опытах с горизонтом 80—100 *см* кубанского чернозема, в котором гумуса очень мало (около 1%), учитывалось почти исключительно распыление водой минеральной части поглощающего комплекса; но и в этом образце почвы содержалось некоторое количество органического поглощающего комплекса (анализ выделенного поглощающего комплекса из этого образца показал, что в нем содержалось 3,20% органической части); по интенсивности окраски жидкости в цилиндрах можно было судить о содержании в ней распыленного водой органического поглощающего комплекса. Эти опыты, а также исследование действия воды на черноземы, богатые гумусом, при насыщении их различными катионами, показывают, что щелочные металлы (Li, Na, NH_4 и K), вступая в поглощающий комплекс почвы, в очень сильной степени способствуют распылению водой органической части этого комплекса и что это распыление достигает гораздо более высокой степени дисперсности, чем распыление минерального поглощающего комплекса при том же поглощенном катионе. Растворы получаются темноокрашенными, а вместе с тем они очень слабо опалесцируют; мутности, которую всегда дают в этом случае минеральные поглощающие комплексы, здесь никогда не наблюдалось.

Таким образом, щелочные катионы, находясь в почве в поглощенном состоянии, вызывают высокодисперсное распыление водой органической части поглощающего комплекса; по-видимому, по крайней мере некоторая часть органического поглощающего комплекса при этом переводится водой даже в молекулярное распыление. Такое энергичное распыление водой органического поглощающего комплекса, являющегося главным цементирующим фактором в почве, играет существенную роль в бесструктурности естественных почв, насыщенных натрием (солонцы).

Из других исследованных в этом направлении поглощенных катионов

кальций *, барий, алюминий и железо (окисное), насыщая почву, полностью уничтожают распыляющее действие воды на органический поглощающий комплекс. Катионы магний и водород занимают промежуточное положение между щелочными катионами, с одной стороны, и щелочноземельными и трехзначными катионами, с другой стороны, причем поглощенный магний сильнее повышает распыляющее действие воды, нежели поглощенный водород; первый приближается в этом отношении больше к щелочным катионам, а второй — к щелочноземельным.

В исследованиях L. D. Baver (Relation of the amount and nature of exchangeable cations to the structure of a colloidal clay.— Soil Sci., v. 29, 1930, № 4, p. 291) имеется непосредственное определение величины частиц коллоидальной глины в зависимости от рода насыщающего глину катиона. В этом исследовании глина с помощью электродиализа насыщалась водородным ионом, а затем прибавлением различных количеств $(CaOH)_2$ и Na(OH) в ней замещался в том или другом количестве обменный водород на Ca или Na и в полученном с помощью ультрамикроскопа определялась величина частиц. Емкость обмена глины равнялась 57 *мг-экв* на 100 *г*. Вот результат этого исследования.

Прибавлялось $Ca(OH)_2$ или Na(OH), *мг-экв* на 100 *г* глины	Радиус частичек, *нм*		Прибавлялось $Ca(OH)_2$ или Na(OH), *мг-экв* на 100 *г* глины	Радиус частичек, *нм*	
	по $Ca(OH)_2$	по Na(OH)		по $Ca(OH)_2$	по Na(OH)
0 (почва, насыщенная Н)	136	136	42,75	121	98
14,25	126	113	57,00	130	96
18,50	122	96	67,00	148	—
			536,00	—	110

Таблица показывает, что замена водорода кальцием сначала вызывала уменьшение частицы, а затем увеличение, образование агрегатов; средняя величина радиуса этих агрегатов достигала 148 *нм* вместо 136 *нм* по обменному водороду; введение в коллоид натрия вместо водорода вызывало сильное распыляющее действие: при полном насыщении глины натрием в ультрамикроскопе обнаружились частицы с радиусом 96 *нм* — это предел видимости в ультрамикроскопе; таким образом, в исследованном материале могли быть частицы и меньшего размера. Увеличение количества прибавленного Na(OH) до 536 *мг-экв* (емкость обмена 57 *мг-экв*) увеличило радиус частиц; едкий натр, взятый в таком избытке, производил уже некоторое свертывание.

* Опыты насыщения кальцием ненасыщенных торфянистых горизонтов подзолистых почв показывают, что часто в этом случае вода из таких насыщенных кальцием почв извлекает больше органических веществ, нежели из первоначальной ненасыщенной почвы. По-видимому, в этих случаях кальций дает с органическими веществами таких почв какие-то водонерастворимые соединения.

Таким образом, это исследование полностью потверждает мои выводы, полученные еще в 1920 г. на основании вышеприведенных простых опытов.

В той же работе имеется исследование быстроты фильтрации суспензий той же глины, насыщенной на 50% или кальцием, или натрием через мембрану из коллодиума под давлением; в первом случае жидкость фильтровалась значительно быстрее, чем во втором, т. е. водопроницаемость глины, содержащей обменный кальций, была выше, чем той же глины, содержащей обменный натрий. Таким образом, и здесь мы имеем подтверждение моего вывода, сделанного иным путем.

Отмечу, что распыляющее действие поглощенных катионов калия и особенно аммония на органическую часть поглощающего комплекса все-таки заметно уступает действию поглощенного натрия; особенно наглядно это, если почвы, насыщенные каждым из этих катионов в отдельности, промывать (на воронке или методом последовательных водных вытяжек) водой; количество гуматной части, вымываемое водой, при этом оказывается далеко не одинаковым, вымывание из почвы, насыщенной натрием, идет значительно дольше, чем из почв, насыщенных калием и особенно аммонием; так как прибавление к промывной воде самых ничтожных количеств соды значительно повышает вымываемость коллоидального органического комплекса из почв, насыщенных калием и аммонием, то дело в указанном различии заключается, очевидно, в том, что в воде, действующей на почвы, насыщенные аммонием и калием, образуется меньше гидроксильного иона, чем в случае почвы, насыщенной натрием; это же происходит потому, что энергия поглощения аммония и калия значительно выше, чем натрия, и водородный ион воды вытесняет калия и аммония значительно меньше, чем натрия. А затем весьма существенна здесь неодинаковая степень гидролитической диссоциации солей Na_2CO_3, K_2CO_3 и $(NH_4)_2CO_3$ и неодинаковая степень электролитической диссоциации $NaOH$, KOH и NH_4OH.

Таким образом, каждое воздействие на эти почвы воды дает неодинаковые количества извлекаемого органического вещества в зависимости от того, чем почва насыщена. Сам процесс извлечения гуматной части водой из таких почв, насыщенных щелочными катионами, продолжается долго; постепенно количество выщелачиваемого гумуса понижается и, наконец, процесс выщелачивания вовсе прекращается. Такое постепенное уменьшение количества гуматной части, выщелачиваемой из почвы одними и теми же объемами воды, нужно объяснить постепенным уменьшением количества гидроксильного иона: вытеснительная деятельность водородного иона (вытеснение водородным ионом воды поглощенного щелочного катиона), которой обязано появление в жидкости гидроксильного иона, будет по мере вытеснения поглощенного щелочного катиона все понижаться. Мы имеем этому непосредственные доказательства, на которых мы здесь несколько остановимся.

Из одной и той же навески почвы, насыщенной кальцием и небольшим количеством магния (чернозем), поглощенные основания постепенно вытеснялись водой, содержащей угольную кислоту; для этого ко взятой

навеске почвы прибавлялось определенное количество воды и в течение 2 часов пропускался через жидкость ток углекислоты; после этого вытяжка отфильтровывалась. Почва, оказавшаяся на воронке, смывалась с фильтра в склянку, в которой производилась вытяжка; содержимое склянки доводилось водой до того же объема, что и при первой вытяжке; через новую вытяжку снова пропускался в течение 2 часов ток углекислоты и т. д. Таким образом, из одной и той же навески почвы при возможно одинаковых условиях последовательно вытеснялся поглощенный кальций водородным ионом в той же концентрации.

Останавливаться подробно на результатах этого исследования не буду; они опубликованы отдельно [1]. Укажу лишь на то, что каждая такая вытяжка извлекала очень мало обменных катионов (так например, первая вытяжка извлекала из 100 *г* почвы всего 0,047% Са при содержании в 100 *г* почвы 0,938 *г* обменного кальция), и, вместе с тем, каждая последовательная вытяжка извлекала из почвы все меньшие и меньшие количества поглощенного кальция; между тем, если бы вытеснительная деятельность водородного иона не уменьшалась, скорее можно было ожидать при этой постановке опыта обратного — некоторого постепенного повышения количеств вытесняемого кальция.

Очевидно, чем меньше кальция оставалось в поглощенном состоянии, тем прочнее была его связь с поглощающим почвенным комплексом и тем меньшие количества его водородный ион воды, оставаясь все время при одной и той же концентрации, мог вытеснить. Сказанное должно, конечно, относиться не только к поглощенному кальцию и вытеснителю — водороду, но ко всем поглощенным катионам и любым катионам-вытеснителям. Отмечу здесь еще, что в описываемом опыте с каждой последующей вытяжкой почва, увеличивая количество поглощенного водорода, становилась все более и более коллоидальной, занимала больший объем, медленнее фильтровала и т. д.

В отношении извлечения из почвы гуматной части, насыщенной щелочными катионами *, существуют определенные оптимальные условия. Чем больше в извлекающей жидкости присутствовало бы гидроксильного иона, тем больше, конечно, извлекалось бы гуматной части и тем скорее извлечение это произошло, если бы гидроксильный ион мог существовать в жидкости самостоятельно, если бы жидкость не содержала всегда эквивалентного количества катиона щелочного металла, действующего в противоположном ОН направлении, хотя и слабее гидроксила. Поэтому с увеличением количества соды (или едкого натра) в жидкости извлечение органического вещества сначала все усиливается, но это у с и л е н и е становится все меньше и меньше вследствие все усиливаю-

---

[1] Данные остались неопубликованными.— *Прим. ред.*

* Рассматриваю именно этот случай, а не общий — насыщенности почвы другими катионами, только потому, что здесь данное явление протекает без тех побочных реакций, какие имеют место в случае других насыщающих почву катионов и которые очень усложняют вопрос.

щегося осаждающего действия катиона и сводится при известной концентрации соды к нулю; тогда при этой концентрации соды получаются оптимальные условия для извлечения гуматной части почвы; а в дальнейшем, с увеличением концентрации соды, начинается уже ослабление извлечения, потому что в двойственном действии соды перевес берет осаждающее влияние катиона.

Вследствие такой зависимости хода извлечения гуматной части из почв, насыщенных щелочными металлами, прибавление соды и едкого натра может вызвать и усиление, и ослабление этого процесса; все будет зависеть от имеющегося уже содержания OH в системе: почва, насыщенная щелочным катионом + вода, и от количества прибавляемой соды или едкого натра; для каждой такой системы имеются оптимальные количества соды или едкого натра, которые, будучи прибавлены к ней, создадут и оптимальные условия для извлечения гумуса. А так как почвы, насыщенные калием и аммонием, дают с водой меньше гидроксильного иона, чем почва, насыщенная натрием, то для создания оптимальных условий извлечения гуматной части они нуждаются сильнее в прибавлении соды и едкого натра; прибавка этих соединений вызывает здесь больший эффект, нежели в почве, насыщенной натрием.

Но и в почве, насыщенной натрием, особенно если она не содержит углекислого кальция, образование гидроксильного иона может не достигать того оптимума, о котором здесь идет речь; поэтому и здесь прибавление соды, особенно под конец выщелачивания, может оказать положительный эффект. Если же почва, насыщенная натрием, содержит углекислый кальций, то вследствие более интенсивного процесса образования соды растворение органического вещества будет идти здесь часто энергичнее, чем в бескарбонатных почвах, но не всегда; иногда это количество уже такое, что оно производит обратное действие, свертывает гуматную часть; а затем при этих условиях часть гуматного поглощающего комплекса переходит из насыщенного натрием в насыщенный кальцием и потому закрепляется в почве. Цифровые данные распыляющего действия различных катионов, насыщающих емкость обмена почвы, приводятся мною ниже, в разделе «Разрушение водами почвенного поглощающего комплекса».

В связи с рассмотренным выше вопросом о физическом состоянии почвенного поглощающего комплекса стоит другой очень интересный и весьма существенный вопрос из области физико-химической поглотительной способности почвы, а именно: можно ли из почвы вообще вытеснить нацело катионы, содержащиеся в ней в поглощенном состоянии?

В начале своих работ по поглотительной способности почвы, когда я еще далеко неясно представлял себе роль свободного водородного иона воды в процессах обмена, я руководствовался при определении конца вытеснения из почвы поглощенного кальция тем, что прекращал обработку почвы вытеснителем тогда, когда качественная проба на кальций в большом количестве промывных вод давала количество мути не больше, чем водная вытяжка из почв, бедных кальцием, считая, что в этом случае

мы имеем дело уже с растворением. Теперь для меня ясно, что в абсолютно бескарбонатных почвах вода не растворяет в прямом смысле этого слова кальциевые соединения почвы, а вытесняет из почвы своим свободным водородным ионом поглощенный кальций; таким образом, конечно, вытеснение для полноты его надо вести до конца, до полного прекращения выделения кальция. Это обстоятельство является слабой стороной всех методов определения поглощенных катионов и непосредственных методов определения емкости поглощения, основанных на вытеснении поглощенных оснований катионами солей.

В монографии «Почвенный поглощающий комплекс...» (изд. 2-е, стр. 57)[1] мною был поставлен вопрос, можно ли этими методами во всех случаях вытеснить нацело все поглощенные катионы почвы; и в то же время я уже склонялся к тому, что практически это не всегда возможно. На основании дальнейших теоретических соображений и некоторых фактов я в настоящее время еще более утверждаюсь в своем мнении.

Обменная способность почвы сосредоточивается почти исключительно в ее коллоидальной фракции; более грубые механические элементы почти вовсе не принимают в этом участия, а подколлоидная и коллоидальная фракции почвы находятся в ней, как мы видели выше, вообще говоря, в связанном состоянии; вода освобождает их из этого связанного состояния лишь отчасти, в большем или меньшем количестве, в зависимости от свойств почвы; связь элементов с другими механическими элементами почвы и между собой может быть различной, то более, то менее рыхлой; в зависимости от этого в агрегатах, не разбивающихся при действии на почву раствора вытеснителя, будет иметься та или другая часть поверхности илистых частиц, бо́льшая или меньшая, недоступная воздействию катиона-вытеснителя, пока вода не разъединит эти участки поверхностей соприкосновения.

Если принять это все во внимание и вспомнить, как происходит отмучивание илистой фракции в почвах, богатых ею и содержащих много микроагрегатов (как пример можно взять кубанский чернозем горизонта 80—100 *см*, опыты с которым я описал выше, и насыщение которого натрием очень сильно, как мы видели, увеличило количество илистой фракции, что и служит указанием на прочность микроагрегатов естественной почвы), то легко видеть, что между ходом процесса вытеснения из такой почвы поглощенных катионов и ходом процесса выделения из нее илистой фракции должна быть известная аналогия. Ход же выделения илистой фракции из первоначальной почвы таков: сначала первые сливания дают много илистых частиц, затем количество их все убывает и наконец достигает очень незначительной величины еще задолго до выделения всей илистой фракции, судя по ее количеству в почве, насыщенной натрием; при дальнейшем отмучивании количество взвешенных частиц в воде перед сливанием остается все время, сколько бы мы ни отмучивали, примерно около этой величины: вода распылила сначала слабо связанные

[1] См. также стр. 260 наст. тома.

илистые элементы, а затем постепенно, малыми порциями, каждый раз распыляла тот ил, который был в почве прочно связан с другими механическими элементами и между собой.

Таков должен быть и ход вытеснения поглощенных катионов; сначала вытеснитель вытесняет их в большом количестве со свободных поверхностей илистых частиц и с поверхностей, освобождающихся под влиянием воздействия вытеснителя, а затем идет вытеснение только из тех илистых частичек, которые постепенно в очень малом количестве освобождаются из связанного состояния; если это расклеивание связанных илистых частиц в этот период воздействия вытеснителя очень слабо (как, например, в кубанском черноземе наших опытов), то и количество вытесняющих поглощенных катионов будет каждый раз почти одинаково и очень мало; практически на этом и приходится кончать вытеснение.

Ясно, что чем больше в почве такого прочно связанного ила, тем менее полно будет вытеснение поглощенных катионов. Все то, что будет способствовать уменьшению степени связанности ила в почве, будет способствовать вместе с тем более полному вытеснению поглощенных катионов и более точному определению истинной величины емкости поглощения почвы; и обратно, все то, что будет увеличивать прочность связи илистых элементов почвы между собой и с другими механическими элементами почвы, все это будет уменьшать количество вытесняющихся из почвы поглощенных катионов, и мы будем получать емкость поглощения, более отклоняющуюся от ее истинной величины.

Ясно также, что влияние этого фактора (связанности илистой фракции) на неполноту вытеснения поглощенных катионов и на неполное определение емкости поглощения должно быть у различных почв неодинаково, а вместе с тем неодинаково будут сказываться на этих определениях все те влияния, усиливающие или ослабляющие связанность, о которых мы говорили выше. Но само собой разумеется, что от того, что мы не можем вытеснить взятым катионом поглощенного катиона частицы, находящегося в месте, недоступном для проникновения взятого для вытеснения катиона, этот поглощенный катион не перестает быть поглощенным катионом, а только лишь мы не умеем пока проникнуть к нему и вследствие этого определяем не истинную емкость поглощения почвы (ее можно назвать также *предельной емкостью поглощения, или обмена*), а лишь доступную для взятого метода.

Ясно также, что в указанном выше смысле доступность обменных катионов вытеснению их из поглощающего комплекса должна зависеть от рода вытесняющего катиона и от способа вытеснения раствором этого катиона.

На основании сказанного я думаю, что интересные исследования М. А. Винокурова и К. П. Горшенина, которые констатируют изменение содержания поглощенных катионов и емкости поглощения методами вытеснения солевыми растворами, скорее всего обусловливаются изменением во времени физического состояния почвенного поглощающего комплекса, именно изменением его агрегатности и ее прочности. Но вместе с

тем я должен указать, что в почвах имеется одно обстоятельство, которое до сих пор вовсе не учитывается исследователями, которое, по-видимому, может менять и емкость поглощения; имею в виду биологические явления в почве. Можно определенно утверждать, что в явлениях обмена принимает участие, кроме минеральной части почвы, не только гумус, вещества которого хотя и более подвижны, нежели минеральный поглощающий комплекс почвы, но все-таки настолько уже устойчивы, что существенно изменяться не могут за короткий промежуток времени; в этом обмене принимают участие и органические остатки растений, не дошедшие еще в своем разложении до стадии гумуса; характер их, а вместе с тем и их способность к обмену должны изменяться гораздо быстрее, чем у гумуса.

Далее, в этом обмене видная роль должна принадлежать тем миллиардам микроорганизмов, которые населяют каждый грамм почвы, причем в нем должны участвовать как живые, так и мертвые микробы, а так как поглощение живыми и мертвыми микробами не может быть одинаковым и так как мертвые микроорганизмы в разных стадиях разложения будут также обладать неодинаковой обменной способностью, то все это вместе, принимая во внимание еще ту быстроту, с которой в деятельных почвах могут изменяться все указанные факторы, может обусловить периодические колебания величины предельной емкости поглощения.

РАЗРУШЕНИЕ ВОДАМИ ПОЧВЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Почва непрерывно, из года в год, на ту или другую глубину, в той или другой степени промывается атмосферными осадками, а при достаточной степени увлажнения места ее залегания промывается очень энергично; простые соли, содержащиеся в почве и образующиеся при воздействии воды на почву, при этом будут вымываться вниз, могут затем вновь подниматься к поверхности почвы или же совершенно выходить из области почвы и уже не возвращаться обратно. А что же будет с другой частью почвы, следующей по своей подвижности после простых солей, значительно менее подвижной, чем эти соли, но все-таки гораздо более подвижной, чем остальная органическая и алюмосиликатная часть почвы; что будет происходить с почвенным поглощающим комплексом, кроме тех реакций взаимообмена между его поглощенными катионами и катионами, содержащимися в промывающей почву влаге?

Это один из наиболее интересных и существенных вопросов, относящихся к поглощающему почвенному комплексу, так как комплекс этот представляет собой наиболее ценную часть почвы и по мере его разрушения почва все более и более переходит из совокупности очень сложных и сравнительно мало устойчивых соединений, обусловливающих ее жизнь и ее пригодность, как среды для жизни растений и микроорганизмов, придающих высокую реакционную способность и резко выраженную отзывчивость на любые изменения внешних условий,— в смесь про-

стых и устойчивых соединений, т. е. в мертвое тело. А затем в этом разрушении поглощающего комплекса и в создании из его отдельных частей (при ближайшем участии живых и мертвых организмов) в том или другом месте новых количеств поглощающего комплекса и состоит главным образом процесс почвообразования.

Прежде чем перейти к изложению состояния этого вопроса, я должен пояснить, во избежание неясности, в каком смысле я применяю здесь понятие «разрушение» почвенного поглощающего комплекса. Если в почве величина ее поглощающего комплекса в силу тех или иных причин уменьшается, я говорю, что почвенный поглощающий комплекс разрушается. Но это разрушение может происходить двояко: поглощающий комплекс может вымываться из почвы как таковой, и количество его в почве будет, конечно, уменьшаться; а, с другой стороны, вода может вызвать разложение, распад сложных соединений комплекса на более простые соединения и вымывать их затем уже равномерно или в различном отношении, или вымывать один из них и не вымывать другие из этих продуктов распада сложных соединений поглощающего комплекса. В это понятие распада, или разложения поглощающего комплекса я не включаю реакции обмена его поглощенных катионов.

Мои наблюдения и исследования приводят меня к выводу, что разрушение в первом смысле этого слова путем простого вымывания, выщелачивания происходит в почве только с органическим поглощающим комплексом; конечно, и при этом вода может вызывать тот или другой распад сложных органических соединений этого комплекса, но все равно, будет ли иметь место такой распад или нет, вода, промывающая почву, будет выносить, разрушать ее органический поглощающий комплекс; соединения этого комплекса дают с водой настолько высокодисперсные золи, что механически органическое вещество не может задерживаться почвой; для этого необходимо, чтобы циркулирующая через почву вода, несущая с собой частички органического поглощающего комплекса, встретила бы какой-нибудь химически или свертывающе действующий агент (например $CaCO_3$).

Не то с минеральным поглощающим комплексом почвы; он сравнительно настолько грубо коллоидален, что задерживается самым тонким слоем почвы в силу ее механической поглотительной способности, и разве только в почвах очень крупнозернистых, почти лишенных илистых частиц, может уноситься вниз водой на ту или другую глубину; вообще же говоря, для своего выноса он нуждается в предварительном распаде, упрощении его частиц, с образованием более подвижных, более высокодисперсных соединений (как, например, коллоидальных растворов кремнекислоты и полуторных окислов).

Таким образом, в моем изложении разрушение поглощающего комплекса почвы водой понимается как уменьшение его количества в почве, причем вода органическую его часть просто распыляет и выносит как таковую вниз, а минеральную часть разлагает, разрушает ее соединения и выносит уже продукты этого распада.

Устойчивость в отношении действия воды поглощающего комплекса почвы в первую очередь зависит от степени его дисперсности (т. е. от его механического состава) и от физического его состояния. Если почвенный поглощающий комплекс под действием воды распыляется на первичные коллоидальные частички, то доступность его разрушающему действию воды должна быть больше, нежели в том случае, когда вода действует на агрегаты этих частиц, на вторичные частицы; и разница будет тем больше, чем крупнее коллоидальные агрегаты; поверхность взаимодействия при одном и том же общем количестве поглощающего комплекса в первом случае будет больше, чем во втором. Конечно, внутренняя поверхность первичных коллоидальных частичек в этих агрегатах отчасти будет также доступна действию воды; вода будет проникать в капиллярные промежутки между отдельными частицами, составляющими агрегаты; но, во-первых, вследствие сопротивления воздуха в узких капиллярах и вследствие их четочной формы возможно неполное заполнение их водой; а во-вторых, что здесь особенно важно, вода или почвенный раствор, попавшие в эти капилляры, так и будут оставаться здесь непосредственно продолжительное время, почти не обмениваясь местами с водой окружающих агрегатов и с водой межагрегатных пространств; вследствие узости капиллярных ходов в этих агрегатах и выход отсюда диффузией продуктов распада должен быть очень замедлен.

Таким образом, если даже не принимать во внимание всех особых свойств воды, находящейся тут под действием колоссальных сил, и особенностей реакций в этих условиях, придется признать, что внутри каждого агрегата разрушающее и растворяющее действие воды должно быть очень сильно понижено по сравнению с действием ее на свободные первичные коллоидальные частицы.

Но мы раньше видели, что физическое состояние почвенного поглощающего комплекса находится в тесной связи с составом поглощенных катионов; поэтому и степень разрушающего действия воды на почвенный поглощающий комплекс зависит от того, каким или какими катионами насыщен этот поглощающий комплекс. Для того, чтобы конкретно показать зависимость разрушающего действия воды от рода катиона, полностью насыщающего почвы, мы приведем здесь часть нашего исследования еще не законченного, касающуюся катионов H, Li, NH_4, Na, K и Mg.

Для этого исследования навески почвы (горизонт 0—20 *см* каменностепного тучного чернозема; гумус — 10,4%, обменного кальция — 46,9 *мг-экв*, обменного магния — 7,2 *мг-экв* в 100 *г* почвы) по 10 *г* каждая обрабатывались соответствующими хлоридами (растворы солей 1,0 н., соляная кислота — 0,05 н.) до полного вытеснения обменного кальция; после насыщения тем или другим катионом оставшиеся в почве хлориды полностью вымывались 80%-ным алкоголем. После полного улетучивания спирта почва с воронки смывалась в литровый мерный цилиндр с притертой пробкой; цилинды дополнялись до черты водой и оставлялись на 7 дней при взбалтывании время от времени. По прошествии этого времени все цилиндры отфильтровывались через двойной

фильтр из бумаги 602 (extra hart). Фильтраты получились различной степени окрашенности в зависимости от рода насыщающего почву катиона (от совершенно черного до почти не окрашенного; степень окраски убывала в следующем порядке испытывающихся катионов: Li, Na, K, NH_4, Mg, H).

Для изучения защитного действия $CaCO_3$ параллельно ставилось такое же точно исследование, но перед смыванием почвы с воронок в мерные цилиндры к почве на воронке прибавлялось по 1 *г* $CaCO_3$, тщательно перемешивалось на воронке же и смывалось в цилиндры. Все фильтраты были без следов мути или опалесценции.

Собранные фильтраты были проанализированы мною на содержание гумуса, сухого остатка, SiO_2 и суммы полуторных окислов. Остаток почв на фильтрах после полного отфильтрования жидкости промывался водой, пока промывные воды не становились совершенно бесцветными. В этом втором фильтрате определяется только гумус.

Результаты этого исследования даю в нижеследующей таблице.

Извлекалось водой в процентах от веса почвы:

Почва	Сухой остаток		SiO_2	Al_2O_3 + + Fe_2O_3	Воднорастворимый гумус, *см*³ 0,05 н. $KMnO_4$		
	просушенный при 105°	прокаленный			1-й фильтр	2-й фильтр	сумма, выраженная в гумусе
I, насыщенная Li	9,41	5,41	2,85	1,980	7080	1000	2,09
Ia, то же, плюс $CaCO_3$	8,72	4,80	1,770	1,600	6720	820	1,95
II, насыщенная Na	9,52	6,02	2,580	2,032	6803	1380	2,12
IIa, то же, плюс $CaCO_3$	7,57	4,42	1,900	1,388	5760	1180	1,79
III, насыщенная K	3,95	1.45	0,412	0,320	6120	1030	1,85
IIIa, то же, плюс $CaCO_3$	3,76	1,86	0,140	0,128	4080	740	1,35
IV, насыщенная NH_4	2,10	1,09	0,596	0,448	2100	840	0,76
IVa, то же, плюс $CaCO_3$	0,660	0,228	0,080	0,024	1560	620	0,56
V, насыщенная Mg	0,760	0,340	0,072	0,061	620	—	0,16
Va, то же, плюс $CaCO_3$	1,200	0,800	0,036	—	310	—	0,08
VI, насыщенная H	0,350	0,178	0,042	—	56	—	0,014
VII, первоначальная	0,284	0,112	0,016	0	14	—	0,0037

Как видно из этой таблицы, вода в условиях применявшейся обработки извлекала из первоначального чернозема, т. е. при почти полном насыщении почвы кальцием, всех исследованных веществ меньше, нежели из той же почвы, насыщенной одним из упомянутых катионов, причем извлечение различных катионов оказалось в этом отношении очень неодинаковым. Сильнее всего меняло отношение почвы к воде насыщение

почвы литием и натрием; в общем оба катиона, насыщая полностью почву, оказывали на действие воды почти одинаковое, чрезвычайно сильное влияние; гумуса и кремнекислоты вода извлекала из почвы, насыщенной литием, несколько больше,— чем из почвы, насыщенной Na, а полуторных окислов — одно и то же количество; оба эти катиона, таким образом, чрезвычайно сильно повысили вымываемость гумуса из чернозема (из первоначального чернозема было вымыто всего лишь 0,0037 *г* гумуса, а после насыщения литием или натрием — около 2%, т. е. $^1/_5$ всего гумуса почвы); под влиянием этих же катионов в обменном состоянии из чернозема было удалено водой 2,8% (Li) и 2,6% (Na) кремнекислоты, тогда как из первоначальной почвы то же количество воды вынесло всего лишь 0,016% SiO_2 и 0% полуторных окислов; в присутствии в почве этих обменных катионов вода (при отношении между водой и почвой, равном 100) вынесла около 2% (от веса почвы), тогда как из почвы, насыщенной Ca,— неуловимые анализом следы.

Калий, насыщая полностью емкость обмена почвы, также очень сильно повышает вымывание из почвы органического вещества и разрушение водой почвенного поглощающего комплекса, но действие его в этом отношении заметно уже уступает действию лития и натрия, причем приведенные данные показывают, что в отношении распыляющего действия на органическую часть поглощающего комплекса влияние калия лишь несколько меньше, чем лития, и почти совершенно равно влиянию натрия (при литии вымыто 2,09% гумуса, при натрии — 1,87%, а при калии — 1,88%); разрушение же водой минеральной части поглощающего комплекса при насыщении его калием оказалось уже значительно слабее, чем при насыщении литием и натрием (так, кремнекислоты из почвы, насыщенной калием, унесено водой в нашем опыте всего 0,412%, из насыщенной же литием — 2,8%, а натрием — 2,6%, а полуторных окислов соответственно — 0,32, 1,98 и 2,0%).

Еще слабее, но все-таки еще сравнительно сильно повышает разрушение водой поглощающего комплекса почвы поглощенный аммоний, причем и тут сравнительное его действие на обе части комплекса иное, чем у вышерассмотренных катионов: органический поглощающий комплекс при поглощенном аммонии разрушается значительно слабее, чем при поглощенных литии, натрии и калии, а минеральный значительно слабее, чем при литии и натрии, но заметно сильнее, чем при поглощенном калии.

Поглощенный двузначный катион магния влияет на разлагающее почву действие воды значительно слабее, чем четыре вышеприведенных однозначных щелочных катиона; можно сказать, что его действие в этом отношении исчезающе мало сравнительно с действием Li, Na, K и NH_4; но если действие магния сравнивать с действием не этих катионов, а с действием поглощенного кальция, то приходится сказать, что влияние его все-таки огромно; в то время как из чернозема, почти целиком насыщенного кальцием, вода в нашем опыте унесла всего 0,0037% органических веществ, 0,016% SiO_2 и неуловимые следы полуторных окислов

из той же почвы, насыщенной магнием, водой было унесено соответственно 0,16, 0,072 и 0,061%; такое действие воды на почву приходится признать уже очень сильным; надо еще иметь в виду, что наш первоначальный чернозем, с которым мы ведем сравнение, не полностью насыщен кальцием, в нем при общей емкости обмена в 54,1 *мг-экв* в 100 *г* содержится 7,2 *мг-экв*. Во всяком случае, можно определенно говорить, что разрушаемость почвенного поглощающего комплекса в присутствии в почве обменного магния значительно выше, чем в том случае, когда обменным катионом является кальций.

Наконец, что касается обменного водорода, то его влияние оказалось самым слабым; почва, насыщенная водородом, в отношении разрушающего действия воды уже значительно (можно сказать — почти) приблизилась к первоначальному чернозему, но опять-таки это различие, абсолютно выражающееся для 100 *г* почвы ничтожными величинами, имеет колоссальное значение в почвенных процессах, в характере и в судьбах почвы.

В приведенной таблице для каждого насыщающего почву катиона даем два ряда величин: то, что вода извлекает из почвы, насыщенной каждым из этих катионов, в отсутствие и в присутствии $CaCO_3$. Как видим, углекислый кальций при всех взятых насыщающих катионах в той или другой степени, иногда очень значительно, понижает величину разрушающего эффекта данного катиона.

Мы остановимся здесь еще на одном моменте, а именно на роли гуматной части в разрушающем эффекте насыщающего почву катиона. В своей недавно опубликованной работе о действии перекиси водорода на почву * я останавливался на вопросе о значении такой обработки для изучения роли гумуса в тех или других свойствах почвы. Теперь я могу указать, как влияет присутствие в почве органического поглощающего комплекса на рассмотренный выше разрушающий эффект насыщающего почву катиона натрия, или, вернее сказать, как изменяется этот эффект, если в почве уничтожить органический поглощающий комплекс, но оставить в ней в неизменном состоянии минеральную часть поглощающего комплекса.

Я приведу здесь результаты только одного опыта. Опыт был поставлен совершенно так же, как и вся вышеописанная серия, только навеска почвы в 10 *г* (тот же чернозем с 10% гумуса) была сначала обработана перекисью водорода до возможно полного удаления гумуса, затем уже насыщена полностью натрием, с последующим полным удалением оставшегося в почве хлористого натрия. После промывания почва была смыта в литровый мерный цилиндр; цилиндр дополнен до черты водой и через 7 дней содержимое фильтровалось через двойную бумагу 602 extra hart; фильтрация была очень затяжной и через 4 дня совершенно прекратилась, в собранном фильтрате (бесцветный и слабо опалесцирующий) был

---

* *К. Гедройц*. Действие перекиси водорода на почву.— «Удобрение и урожай», 1931, № 9 и 10.— См. также стр. 361 наст. тома.

произведен анализ. Привожу полученные данные, а для сравнения даю здесь же данные для почвы, насыщенной натрием, без удаления гумуса (из вышеприведенной таблицы на стр. 529).

Почва	Сухой остаток		SiO_2	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	Воднорастворимый гумус
	прокаленный	просушенный			
Насыщенная Na, без удаления гумуса	9,52	6,02	2,580	2,032	1,87
Насыщенная Na, гумус удален посредством H_2O_2	2,45	1,74	0,492	0,320	—

Мы видим, что разрушение водой минерального поглощающего комплекса в почве, лишенной гумуса перекисью водорода и насыщенной натрием, очень велико, но количество SiO_2 и $Al_2O_3+Fe_2O_3$, извлекаемые водой из такой почвы, все же значительно меньше, нежели из той же, но с гумусом почвы, насыщенной натрием.

Здесь возможны два предположения: или алюмосиликатный поглощающий комплекс, насыщенный натрием, стал более устойчивым в отношении воды после удаления из почвы гумуса (например, потому, что количество поглощенного натрия в почве, лишенной ее гуматной части, раза в два меньше, чем в почве, не лишенной гумуса, и потому в воду, воздействующую на почву, переходило меньше щелочи), или же вследствие удаления гумуса продукты распада минерального поглощающего комплекса (SiO_2 и полуторные окислы) получили возможность осаждаться.

Последнее мы считаем правдоподобнее, и вот почему. Мы видели выше (стр. 515), как сильно увеличивалась водоудерживающая способность почти безгумусного горизонта кубанского чернозема под влиянием насыщения его натрием; ничего подобного нам не удавалось получать с богатыми гумусом горизонтами почвы; водоудерживающая способность их хотя и увеличилась также при замене их обменных щелочноземельных катионов на натрий, но в значительно меньшей степени; но если в такой почве удалить гумус перекисью водорода и затем насытить ее натрием (см. стр. 922 статьи, указанной в предшествующей сноске), то оказывается, что тогда водоудерживающая способность гораздо больше, чем в том случае, когда почва не лишалась гумуса; получилось, таким образом, кажущееся противоречие: в присутствии гуматной части почвы, части наиболее высокодисперсной и гидрофильной, коллоидальность почвы, степень ее набухания оказывается значительно ниже, чем после удаления этой части; очевидно, гумус понижал каким-то образом дисперсность оседающей в воде части почвы; если мы вспомним, что жидкость в цилиндре с почвой, насыщенной натрием, над осадком почвы содержит большую часть органического поглощающего комплекса, а кроме того, очень большие количества извлеченных из почвы SiO_2 и $Al_2O_3+Fe_2O_3$,

то наиболее вероятным объяснением рассматриваемого здесь явления в связи с отмеченными выше значительным уменьшением, вследствие уничтожения в почве ее гуматной части, количеств SiO_2 и $Al_2O_3+Fe_2O_3$, извлекаемых водой из почвы, насыщенной натрием, будет следующее.

Гумус, растворившийся в воде из гумусной почвы, насыщенной натрием, защищает кремнекислоту и полуторные окислы, извлеченные из такой почвы водой, от свертывания их электролитами раствора и от взаимной коагуляции; когда этот защитный коллоид уничтожен, SiO_2 и $Al_2O_3+Fe_2O_3$ получают возможность коагулировать, выпадать и осаждаться вместе с почвой; количество этих сильно набухающих гелей должно быть значительное, судя по тому, как мало остается в воде SiO_2 и $Al_2O_3+Fe_2O_3$ после удаления гумуса из почвы (см. предшествующую табличку); понятно, что присутствие этих гелей в осадке почвы, когда почва, лишенная гумуса, насыщена натрием, должно сильно повышать коллоидальность этого осадка. В подтверждение такой защитной роли гумуса приведу следующее наблюдение: если черную, но совершенно прозрачную на свет, без всяких признаков мути жидкость, полученную фильтрацией вытяжки из чернозема, насыщенного натрием, обрабатывать перекисью водорода, то по мере уничтожения гумуса она начинает мутнеть. Во всяком случае, вопрос этот необходимо исследовать дальше; он, между прочим, очень интересен в отношении выяснения различия в свойствах и в дальнейшей судьбе гумусных и малогумусных солонцов.

На основании всего вышесказанного мы должны заключить, что из поглощенных катионов, широко распространенных в почвах земного шара, наименее способствует разрушающему действию воды, придает наибольшую устойчивость коллоидальной части поглощенный кальций; наиболее способствует разрушающему действию воды, придает наименьшую устойчивость коллоидальной части почвы поглощенный натрий. Поглощенный же водород, придавая поглощающему комплексу способность к более сильному распылению, нежели кальций, но к значительно меньшему распылению, нежели натрий, занимает между ними промежуточное положение.

Что касается, наконец, четвертого, встречающегося почти во всех почвах поглощенного катиона, а именно — магния: то роль его в большинстве случаев ничтожна, так как в почвах его обычно очень мало; в прежние времена его, по-видимому, было больше в почвах, и тогда он способствовал воде разрушать поглощающий комплекс, так как распыляющее его действие, как мы видели, сильнее, чем у поглощенного водорода; но теперь большая часть его уже вымыта из почв, а источника, откуда бы он мог снова поступать в поглощающий комплекс почвы, в природе, вообще говоря, не имеется. Таким источником могут быть местные скопления растворимых солей магния (в магнезиальных солончаках); но, по-видимому, они мало распространены на земном шаре, а где эти магнезиальные соли и встречаются, там обычно много натриевых солей, а так как натрий значительно сильнее распыляет почву, нежели

магний, то частичное вступление магния в поглощающий комплекс вместо натрия, наоборот, повышает устойчивость поглощающего комплекса.

Есть еще один источник магния в почвах — это углекислый магний; соединение это, по-видимому, широко распространено в почвах, но всегда совместно с углекислым кальцием, и в малых сравнительно с ним количествах; в этих случаях магнию также не приходится играть сколько-нибудь заметной роли в поглощающем комплексе ввиду значительно более высокой энергии поглощения кальция. Во всяком случае, существования почв с высоким содержанием обменного магния нельзя отрицать; они по своим свойствам должны несколько напоминать солонцы, а в отношении растений должны значительно отличаться от почв с преобладанием обменного кальция.

Может возникнуть вопрос, почему же водородный ион, несмотря на меньше распыляющее действие, чем магний, несмотря даже на то, что в почвенном растворе его еще меньше, чем магния, например, в карбонатных почвах, почему он играет все-таки такую колоссальную роль в природе, обусловливая своим проникновением в поглощающий комплекс существование двух громадных почвенных зон — подзолистой и латеритной, а магний может иметь лишь местное, очень ограниченное значение? Ответ прост: так как источником поглощенного водородного иона является вода, то этот ион имеется в почвенном растворе всех без исключения почв; в этом отношении водородный ион среди всех остальных ионов занимает особое положение; как только концентрация остальных катионов в почвенном растворе падает ниже известного предела, величина которого обусловливается концентрацией водородного иона в этом растворе и энергией поглощения водородного иона, водородный ион начинает вступать в почвенный поглощающий комплекс очень медленно, постепенно, но неуклонно, вытесняя оттуда все имеющиеся там поглощенные основания, так как для этого имеются два необходимых и совместно достаточных условия: 1) вымывание вытесненных оснований из места их вытеснения и 2) постоянный, неиссякаемый источник вытеснителя (водородного иона), а именно — вода.

Мы выше видели, что наиболее устойчивым в отношении разрушающего действия воды является поглощающий комплекс, не содержащий поглощенного натрия и находящийся в таких условиях, когда проникновение в него водородного иона невозможно, т. е. когда он защищен от этого простыми солями; принимая во внимание первое условие (отсутствие поглощенного натрия) и состав простых солей в почвах, легко видеть, что необходимый для наиболее полной устойчивости поглощающего комплекса состав поглощенных катионов имеется лишь в почвах черноземного типа почвообразования.

С р е д и в с е х типов почвообразования черноземный тип отличается наибольшей устойчивостью своей коллоидальной части, наименьшей доступностью ее разрушающему действию воды.

Противоположностью черноземному типу почвообразования по устойчивости поглощающего комплекса является солонцовый тип почвообра-

зования, т. е. почвы, содержащие в том или другом количестве поглощенный натрий. *Поглощающий комплекс таких почв наиболее неустойчив, наиболее сильно разрушается водой по сравнению со всеми остальными существующими в природе почвенными поглощающими комплексами*; его неустойчивость находится в прямой зависимости от степени насыщения его натрием и содержания в почве легкорастворимых солей.

Среди всех типов почвообразования солонцовый тип отличается наибольшей неустойчивостью своего поглощающего комплекса. Вот для примера результат промывания на воронке чернозема, поглощающий комплекс которого был насыщен кальцием и отчасти магнием, и того же чернозема, поглощающий комплекс которого был полностью насыщен (искусственно) натрием, после удаления из него хлористого натрия.

Из 100 *г* почвы вода извлекала, в граммах *

Почва	Общая сумма минеральных веществ	Al_2O_3 + + Fe_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Na_2CO_3	Гумус
Насыщенная Ca	0,09	Сл.	0,016	0,042	Сл.	Сл.	0,008
Насыщенная Na	1,88	0,89	0,0296	0,022	0,038	0,046	2,38
Насыщенная натрием и смешанная с $CaCO_3$	2,40	Сл.	0,026	0,163	0,701	1,45	1,52

* В этом опыте был взят иной чернозем, чем в исследовании, описанном на стр. 528; но значительно меньшее количество выщелоченных SiO_2 и $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ в этом опыте, по-видимому, обусловлено не этим, а способом выщелачивания: при промывании почвы на воронке, очевидно, имеются благоприятные условия задерживания почвой части выделившихся из поглощающего комплекса коллоидально распыленных SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3, тогда как при фильтрации литра жидкости, смешанной с 10 *г* почвы (как в опыте на стр. 529), условия были и лучшие для воздействия воды на почву, и значительно менее благоприятные для воздействия почвы на фильтрующуюся жидкость.

Данные показывают, что водой было разрушено в почве, насыщенной кальцием, всего лишь 0,09% минерального поглощающего комплекса, а в почве, насыщенной натрием, при тех же условиях обработки водой было вымыто 1,67% этой части; еще резче различие в действии воды на органическую часть поглощающего комплекса: из почвы, насыщенной кальцием, вода в условиях опыта извлекла следы органического вещества (0,008%), тогда как из почвы, насыщенной натрием — 2,380%.

Таким образом, поглощающий комплекс солонцовых почв, как почв, содержащих поглощенный натрий, очень сильно разрушается и вымывается водой; почва усиленно деградирует; этот процесс деградации почвы применительно к солонцовым почвам носит название «о с о л о д е н и я», и почва, получаемая в результате осолодения, называется с о л о д ь ю. Если солонцовая почва была полностью насыщена натрием и

процесс осолодения дошел до конца, то получившаяся из такого солонца солодь будет вовсе лишена поглощающего комплекса.

Процесс осолодения во многом схож с процессом оподзоливания но между ними имеются и существенные различия, а именно: процессу осолодения подвергаются только солонцовые почвы, процессу оподзоливания — почвы, насыщенные кальцием (и магнием); скорость процесса осолодения значительно превосходит скорость оподзоливания; для образования солоди требуется значительно меньше воды, нежели для оподзоливания, и первый процесс может протекать в засушливом климате, тогда как процесс оподзоливания есть почвообразовательный процесс влажных областей.

Так как поглощенный натрий способствует разрушению водой поглощающего комплекса потому, что в его присутствии коллоидальная часть влажной почвы находится в распыленном состоянии (в виде первичных коллоидальных частиц), то, очевидно, осолодение не может происходить сколько-нибудь заметно в натриевых солончаках, несмотря на то, что у них поглощающий комплекс содержит поглощенный натрий, разрушающему действию воды здесь препятствуют растворимые простые соли, свертывая первичные коллоидальные частицы в агрегаты, т. е. действуя противоположно поглощенному натрию, и вместе с тем они препятствуют водородному иону воды вступать в поглощающий комплекс. Осолодение может иметь место тогда, когда растворимые соли в достаточной степени или совсем вымыты из почвы, т. е. в стадии солонца-солончака или в стадии чистого солонца.

Есть еще одно обстоятельство, влияющее на ход осолодения солонцов. Осолодение с полным разрушением той части поглощающего комплекса почвы, которая насыщена натрием, может происходить лишь в бескарбонатных солонцах. Присутствие углекислого кальция до известной степени защищает солонец от этого разрушения, так как, с одной стороны, почвенные растворы, насыщенные углекислым кальцием, понижают распыляющее действие натра, а с другой стороны, кальций замещает собой, вытесняет из поглощающего комплекса натрий. Опыты с естественными и искусственными солонцами показывают, что в присутствии углекислого кальция почти вовсе не происходит разрушения минеральной части поглощающего комплекса; что же касается органической его части, то она вымывается хотя и слабее, чем в отсутствие углекислого кальция, но во всяком случае значительно слабее, чем из почв, насыщенных кальцием. В приведенных на стр. 529 и 535 таблицах видна разница в действии воды на почву, насыщенную кальцием и насыщенную натрием, в присутствии углекислого кальция и в его отсутствие.

Наконец, почвы подзолистого типа почвообразования, имея поглощающий комплекс, не насыщенный основаниями и потому распыляющийся водой сильнее, чем поглощающий комплекс черноземного типа почвообразования, но слабее, чем комплекс солонцового типа, занимают по интенсивности действия на них воды среднее место между этими двумя почвенными типами.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

В почвоведении издавна принято, что 10%-ная горячая соляная кислота разрушает цеолитную часть почвы и не затрагивает или почти не затрагивает остальную, нецеолитную часть. Поэтому в учебниках всюду, где говорится о величине и составе цеолитной части почвы, имеются ввиду результаты действия на почву 10%-ной HCl.

Обычно это действие изучалось таким образом: навеска почвы с таким количеством 10%-ной HCl, чтобы объем ее был бы в 10 раз больше всей взятой почвы, нагревалась при частом побалтывании 10 часов на бане (можно применять получасовое кипячение с таким же количеством 20%-ной HCl, результаты одинаковы); одним словом, приготовлялась 10%-ная солянокислая вытяжка и подвергалась анализу. Далее, так как взятая соляная кислота, разлагая алюмосиликатную часть почвы, переводит алюминий, железо, марганец, кальций, магний, калий и натрий в раствор, а большая часть кремния этой разложившейся части почвы выпадает при этом в виде аморфной кремнекислоты, то для учета количества последней приходится исследовать остаток почвы от солянокислой вытяжки. Действуя на этот остаток при нагревании 10%-ным раствором соды или 5%-ным раствором едкого калия, переводят в раствор вышеозначенную SiO_2 и определяют ее количество. Сумма определенных SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, MnO, Na_2O и K_2O [за вычетом тех количеств этих оснований, которые находятся в почве в виде простых солей, например, в виде $CaCO_3$, $MgCO_3$, $CaSO_4$, $Ca_3(PO_4)_2$ и т. д.] в процентах от веса сухой почвы даст то, что называлось в руководствах «цеолитной частью почвы». Вычислив процент всех составляющих эту часть окислов (т. е. SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 и т. д.) от общего веса этой части, получают «процентный состав цеолитной части почвы».

Ближайшее исследование показывает, однако, что результаты, даваемые 10%-ной солянокислой вытяжкой, нет никаких оснований считать действительно выражающими качественный и количественный состав поглощающего комплекса почвы как комплекса соединений, содержащих катионы, способные к обмену.

Непосредственное определение обменных оснований нижеописываемыми методами дает данные, довольно сильно отличающиеся от данных этой вытяжки; вытяжка дает извращенные результаты, причем, что особенно существенно, степень извращения для различных почв далеко неодинакова; поэтому вытяжка 10%-ной соляной кислотой мало пригодна даже для сравнительного изучения почв. В нижеследующей таблице приводим для двух почв (чернозема и подзола) емкость поглощения, т. е. сумму всех поглощенных оснований, выраженных в миллиграмм-эквивалентах на 100 *г* сухой почвы, и содержание каждого основания в процентах от веса почвы и в процентах от емкости поглощения, найденные непосредственным определением и анализом 10%-ной солянокислой вытяжки (табл. на стр. 538).

Содержание в почвах поглощенных оснований

	Емкость поглощения		Ca			Mg		
	в Ca на 100 *г* почвы	*мг-экв* на 100 *г* почвы	% от веса почвы	*мг-экв* на 100 *г* почвы	% от емкости поглощения	% от веса почвы	*мг-экв* на 100 *г* почвы	% от емкости поглощения
Чернозем								
По непосредственному определению	1,12	56,0	0,89	44,5	79	0,10	8,3	16
По вытяжке 10%-ной HCl	2,34	117,0	0,97	48,5	42	0,52	43,3	37
Подзол								
По непосредственному определению	0,14	7	0,10	5,0	72	0,01	0,5	14
По вытяжке 10%-ной HCl	0,70	35	0,21	10,5	30	0,16	13,4	39

Из приведенной таблицы видим, что солянокислая вытяжка дает емкость поглощения для чернозема в два раза, а для подзола в пять раз большую настоящей величины; затем, относительный состав обменных оснований очень сильно отклоняется от действительного, а именно: соляной кислотой извлекается очень много непоглощенных магния и калия, и опять-таки особенно сильное несоответствие получается для подзола.

Таким образом, способ 10%-ной солянокислой вытяжки представляет собой лишь условный метод изучения поглощающего комплекса почвы, дающий очень неточное и очень приблизительное представление об этой наиболее существенной в жизни почвы и растения части почвы; это, так сказать, лишь первое приближение, первая попытка ее изучения, сыгравшая огромную роль в нашем познании химического состава и химических свойств почвы и почвенных процессов. К этому методу, к сожалению, приходится и сейчас прибегать, несмотря на все его недостатки, так как другого, дающего возможность полностью исследовать почвенный поглощающий комплекс, у нас еще не имеется [1].

Мы можем теперь с гораздо большей точностью определять лишь емкость поглощения и состав поглощенных катионов почвы, состав основной части поглощающего комплекса почвы; более же точного метода для

---

[1] В настоящее время методика исследования почвенного поглощающего комплекса разработана очень широко и глубоко. В ее основе лежит выделение этого комплекса с применением приемов, впервые предложенных К. К. Гедройцем. Выделяемый комплекс далее исследуется как химическими методами, так и физическими (рентгенография, электронография, электронная микроскопия, термогравиметрия и т. д.).— *Прим. ред.*

K			Na		
% от веса почвы	*мг-экв* на 100 *г* почвы	% от емкости поглощения	% от веса почвы	*мг-экв* на 100 *г* почвы	% от емкости поглощения
0,06	1,6	5	0,00	0	0
0,43	11,1	18	0,04	1,7	3
0,02	0,5	14	0,00	0	0
0,15	3,8	21	0,05	2,2	10

определения его кислотной части без предварительного выделения его из почвы (содержания в нем SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3) мы не знаем. Предварительное же выделение из почвы ее поглощающего комплекса, т. е. ее коллоидальной части, требует насыщения почвы натрием и затем длительного отмучивания почвы: хотя такой способ изучения состава почвенного поглощающего комплекса (его анионной части) и дает непосредственный и точный ответ на этот вопрос, но он настолько сложен, что для массового изучения вовсе не пригоден.

I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ В ПОЧВЕ ЕЕ ПОГЛОЩЕННЫХ (ОБМЕННЫХ) ОСНОВАНИЙ

Имеются для этого две группы методов. Даем их принципы.

1. *Вытеснение поглощенных оснований каким-нибудь другим основанием*, не содержащимся в почве; проще всего это производить вытеснением аммонием; навеска почвы обрабатывается на фильтре раствором хлористого аммония или уксуснокислого аммония около 1,0 н.; обработка продолжается до полного вытеснения из почвы кальция (проба фильтрата на кальций щавелевокислым аммонием); после этого в полученном фильтрате по обычным методам определяются перешедшие из почвы в раствор основания, т. е. Ca, Mg, K и Na. Необходимо при этом иметь в виду, что хлористый аммоний, даже самый чистый, всегда загрязнен K и Na, что может очень сильно повлиять на результаты; содержание этих элементов должно быть определено в применяющемся хлористом аммонии, и в данные анализа должна вноситься соответствующая поправка.

2. *Вытеснение поглощенных оснований почвы ионом водорода.* Метод основан на том, что соляная кислота в слабых концентрациях (не выше 0,05 н.) или уксусная кислота (0,5 н.), не разрушая заметно почвенных соединений, вытесняет своим водородом почвенные поглощенные основания. Почва на фильтре обрабатывается 0,05 н. раствором соляной кислоты; промывание продолжается до тех пор, пока весь поглощенный кальций не будет вымыт из почвы (проба на кальций в промывных водах щавелевокислым аммонием). В полученном фильтрате, как в обычной солянокислой вытяжке, определяют кальций, магний, калий и натрий.

В последнее время разработан метод определения поглощенных оснований вытеснением их из почвы водородным ионом воды с применением электродиализа. Есть полное основание считать, что этот метод даст возможность более глубокого изучения почвенного поглощающего комплекса.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ В ПОЧВАХ ПОГЛОЩЕННОГО ВОДОРОДА (ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕНАСЫЩЕННОСТИ ПОЧВЫ ОСНОВАНИЯМИ)

Как мы видели выше, в поглощающий комплекс некоторых почв (именно— не насыщенных основаниями) входит в качестве поглощенного катиона водород. Для определения его количества надо его вытеснить каким-либо другим катионом, обрабатывая почву нейтральным раствором соли этого катиона. Лучше всего брать для этой цели раствор хлористого бария около 1,0 н. Навеска почвы на фильтре обрабатывается таким раствором; при этом Ва поглощается почвой, а эквивалентное количество иона водорода переходит в раствор, давая свободную соляную кислоту, количество которой и определяется титрованием щелочью.

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ К ГИДРОЛИТИЧЕСКОМУ РАСЩЕПЛЕНИЮ СОЛЕЙ (ГИДРОЛИТИЧЕСКАЯ КИСЛОТНОСТЬ)

Некоторые почвы (главным образом не насыщенные основаниями), поглощая щелочь из растворов гидролитически расщепляющихся солей слабых кислот и сильных оснований (например, уксуснокислого кальция или натрия), усиливают этот гидролитический процесс и освобождают из этих солей то или другое количество кислоты. Промывая навеску почвы 1,0 н. раствором такой соли до прекращения в промывных водах кислой реакции и определяя кислотность полученного фильтрата, получают величину гидролитической способности (или кислотности) почвы.

IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ (ОБМЕНА)

1. *Вычисление емкости поглощения* (*обмена*). Полученные вышеприведенными методами количества почвенных поглощенных катионов (выраженные в процентах от веса сухой почвы) перечисляются на эквивалентные количества кальция (количество Mg помножается на $^{40}/_{24}$, количество калия — на $^{40}/_{78}$, количество Na — на $^{40}/_{46}$, количество водородного иона — на $^{40}/_{2}$) и берется их сумма, которая и выразит емкость поглощения в кальции; величина эта может быть выражена, конечно, и в любом другом катионе. Наиболее удобно выражать содержание в почве поглощенных катионов, как указывалось раньше, в миллиграмм-эквивалентах на 100 *г* почвы: процентное содержание каждого поглощенного катиона помножают на 1000 и делят в случае кальция на 20, магния — на 12, калия — на 39, натрия — на 23, водорода — на 1. Емкость поглощения в этом случае выражается также в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы, для чего складывают содержание в 100 г почвы всех поглощенных катионов, выраженное в миллиграмм-эквивалентах. Участие каждого из поглощенных катионов данной почвы в этой емкости поглощения можно выразить, кроме процентного содержания этих катионов от веса сухой почвы, процентом каждого из них от емкости

поглощения или частями единицы, принимая за последнюю величину емкость поглощения.

2. *Непосредственное определение общей емкости поглощения (обмена)*. Почва предварительно полностью насыщается одним каким-либо катионом (очень существенно, чтобы при этом насыщении не происходило разрушения поглощающего комплекса), например Ba, NH_4, Na и т. д., количество которого затем определяют подходящим методом.

3. *Непосредственное определение емкости поглощения минерального поглощающего комплекса почвы*, а по разности — *органического комплекса*. Гумус почвы возможно полностью сжигают перекисью водорода и в минеральном веществе определяют емкость обмена, насыщая для этого почву подходящим катионом (например аммонием или натрием) по предыдущему.

Зная общую емкость обмена всей почвы и емкость обмена ее минеральной части, узнают емкость обмена органического поглощающего комплекса почвы.

Глава 5. ХИМИЧЕСКАЯ ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ

Вследствие только что описанной физико-химической поглотительной способности почва поглощает в себя, переводит в свои минеральные и органические в воде нерастворимые соединения катионы солей, растворы которых пришли в соприкосновение с нею; ясно, что таким же путем почва не в состоянии закреплять анионы солевых растворов, так как физико-химическое поглощение есть реакция взаимного обмена ионами алюмосиликатных солей почвы и простых солей раствора. Но анионы простых солей могут задерживаться почвой иным путем, а именно вследствие способности некоторых анионов давать с некоторыми катионами трудно растворимые или мало растворимые соли; очевидно, если один из таких анионов встретит в почвенном растворе катион, с которым он образует нерастворимую соль, и если концентрации их будут выше известных величин, то данный анион в той или другой части выпадает из раствора в виде осадка; он поглотится почвой из раствора. Тут можно выделить два случая.

1. Если при вышеуказанной реакции взаимного обмена в силу физико-химической поглотительной способности катион простой соли заменится вытесненным из почвы катионом, обладающим свойством давать с анионом взятой простой соли нерастворимую или трудно растворимую соль, то соль эта при обмене оснований выпадет в твердом состоянии, т. е. та или другая часть из общего количества аниона во взятом растворе будет «поглощена» почвою; например, при действии на почву раствора Na_2CO_3 катион натрия физико-химически поглотится почвой, войдет в ее поглощающий комплекс и вытеснит оттуда эквивалентное количество кальция + магния; эти же два катиона с анионом углекислоты

CO_3 дают трудно растворимые карбонаты $CaCO_3$ и $MgCO_3$, которые и выпадут в твердом состоянии, т. е. анион CO_3 будет в некотором количестве «поглощен» почвой.

2. Если почва содержит в своем почвенном растворе или в твердой фазе такие простые соли, катионы которых дают нерастворимые соли с анионом соли, раствор которой смешан с почвой, то вследствие реакции взаимного обмена в растворе выпадает твердая соль, т. е. произойдет «поглощение» почвой этого аниона из раствора в том или другом количестве. Например, если к почве, содержащей углекислый кальций, хлористый или сернокислый кальций, прибавить раствор фосфорнокислого натра, то вследствие обменной реакции выпадет очень трудно растворимый трехкальциевый фосфат $Ca_3(PO_4)_2$.

В поглощающем комплексе почвы содержатся, как мы видели, из оснований кальций и магний, а в некоторых почвах — натрий; из простых солей почвы могут содержать карбонаты кальция и магния (а в солонцеватых почвах и карбонат натрия), сульфаты и хлориды этих трех катионов и в некоторых случаях очень небольшие количества солей железа и алюминия. Таким образом, катионами, переводящими анионы в нерастворимые или трудно растворимые соединения, в почвах могут являться Ca, Mg, Fe, Al и Na; последний в рассматриваемом случае должен быть вовсе отброшен, как не дающий нерастворимых солей с могущими встречаться в почвенном растворе анионами; катионы Fe и Al играют в почвах в количественном отношении лишь второстепенную роль; поэтому главное значение как «поглотителей» анионов в почвах принадлежит кальцию, магнию, Fe_2O_3 и Al_2O_3.

Из анионов, могущих встречаться естественно в почвенных растворах или искусственно вносимых в почвы в целях различного рода мелиораций, мы находим: PO_4, CO_3, SO_4, Cl, NO_3 и NO_2; три последних аниона, анионы соляной, азотной и азотистой кислот, не дают со встречающимися в почвах катионами нерастворимых или трудно растворимых солей; поэтому эти анионы почвами не переводятся в нерастворимые соединения, не поглощаются почвами; в отношении их может быть речь лишь о физическом поглощении. Анионы углекислоты (CO_3) и особенно фосфорной кислоты (PO_4) поглощаются почвами очень энергично, так как $Ca_3(PO_4)_2$ — чрезвычайно трудно растворимая соль (еще труднее растворимо фосфорнокислое железо и алюминий), а углекислый кальций и магний приближаются к ней в этом отношении.

Анион серной кислоты (SO_4) поглощается почвой слабее анионов PO_4 и CO_3, так как сернокислый магний — соль легко растворимая, а сернокислый кальций, хотя и значительно менее растворим, чем $MgSO_4$, но все же значительно более, нежели фосфорнокислый и углекислый кальций; поэтому серная кислота поглощается почвами лишь при сравнительно высоких концентрациях SO_4 и Ca. Укажем здесь, что на способности почвы поглощать анион углекислоты основан способ Гильгарда улучшения солонцеватых почв:



$$Na_2CO_3 + CaSO_4 = CaCO_3 + Na_2SO_4,$$

т. е. если к почве, содержащей соду, прибавить достаточное количество гипса, то сода исчезнет из почвы. Из того, что было сказано об образовании в почвах соды при описании физико-химической поглотительной способности почвы, должно быть ясно, что прибавления к солонцеватой почве такого количества гипса, который перевел бы всю имеющуюся налицо в почве соду в углекислый кальций и сернокислый натрий, далеко еще недостаточно для действительного уничтожения в почве соды: вместо исчезнувшей из почвенного раствора соды тотчас же образуется новое ее количество вследствие обмена кальция углекислого кальция почвы (или водородного иона воды) на поглощенный натрий почвы.

Для того, чтобы уничтожить самую возможность нового образования в почве соды, нужно удалить вообще натрий из ее поглощающего комплекса, а для этого необходимо внести в почву гипс, в количествах гораздо более высоких, чем то, которое отвечает содержанию в почве соды; расчет этих количеств нужно производить не по количеству соды, получающемуся в водной вытяжке из почвы, а по количеству содержащегося в почве поглощенного натрия; само собой разумеется, что этот прием мелиорации солонцеватых почв при более или менее значительной их солонцеватости надо сопровождать удалением образующегося сернокислого натрия с помощью промывания почвы во избежание скопления этой легко растворимой соли в почвенном растворе в концентрациях, вредящих растениям, т. е. во избежание превращения солонца в солончак.

Так как почва поглощает химически вследствие реакции взаимного обмена между солями, находящимися в почвенном растворе, и при условии, что один из продуктов обмена — труднорастворимая соль, то, очевидно, в этом случае химически поглощается и катион; так, при реакции:



$$3CaSO_4 + 2Na_3PO_4 = Ca_3(PO_4)_2 + 3Na_2SO_4$$

почвой закрепляется анион PO_4 и катион Ca.

Рассмотренный сейчас вид поглотительной способности основан на чисто химической реакции взаимного обмена в растворе и на способности анионов и катионов давать трудно растворимые соединения; поэтому этот вид поглощения может быть назван *химической поглотительной способностью почвы*. Это поглощение сближается с физико-химическим в том отношении, что и в том и в другом случае поглощаемое вещество выпадает в твердом состоянии, переходит в твердую фазу почвы (отличие от физического поглощения), но при химическом поглощении, в отличие от физико-химического, осаждающийся анион переходит не в самую почву, а выпадает лишь как механическая примесь к ней, как отдельное от нее твердое вещество.

Мы видим, что благодаря физико-химическому поглощению почва может задерживать, переводя в нерастворимое состояние, всякий катион растворимой соли, а значит, и все катионы, имеющие для растений питательное значение; таким образом, почва защищена от вымывания из нее всех питательных для растений оснований, находящихся в ней естественно или вносимых искусственно с удобрительными веществами. Бла-

годаря химической поглотительной способности почва может задерживать не все анионы, а из питательных она не поглощает как раз самое ценное в сельскохозяйственном отношении вещество — азотную кислоту; нитраты поэтому могут вымываться из почвы. И действительно, лизиметрические исследования, исследования дренажных и грунтовых вод показывают, что потеря нитратного азота верхними горизонтами почв в некоторых случаях может достигать значительных размеров. Так, например, по данным Ротамстедской опытной станции дренажные воды в условиях климата Англии уносят в год следующее количество нитратного азота:

	Содержание в 1 *л* дренажной воды, *мг*				Потеря азота, *кг/га* в год
	от посева до конца мая	с июня до жатвы	от жатвы до осеннего посева	от осеннего посева до весеннего	
Почва без удобрения	3,0	0,1	4,8	5,0	16,7
Аммиачное удобрение	31,6	11,4	12,7	6,9	55,9
Аммиачное удобрение и суперфосфат	25,8	5,8	3,0	7,7	41,2

Исследования А. Ключарева показали, что из подзолистых почв Московской губ. в лизиметрах вымываются с середины мая до середины октября следующие количества нитратного азота на гектар площади:

Почва	*кг*	Почва	*кг*
Без растений	43,2	Под овсом	0,2
Под викой	5,2	Под ячменем	0,3

Если принять во внимание, что средний урожай ржи берет с гектара около 30 *кг* азота, то потеря нитратного азота почвой без растений оказывается внушительной величиной; почва может потерять вымыванием в период с 15 мая до 15 октября в полтора раза больше азота, чем нужно его для среднего урожая ржи. Но если почва покрыта растениями, то потеря азота уже значительно меньше и даже почти сводится к нулю: таким образом, мы видим, что растительность может в значительной степени предохранять почву от выщелачивающего действия атмосферных осадков; тут мы имеем частный случай еще одного вида поглотительной способности почвы, который может быть назван биологическим поглощением; к рассмотрению его мы сейчас и перейдем, здесь же еще укажем на следующее.

Из данных Ротамстедской станции мы видим, что количество азота, вымываемого из почвы, сильно возрастает под влиянием аммиачного удобрения; еще сильнее оно выражается при удобрении селитрой; поэтому непоглощаемость иона NO_3 почвой заставляет особенно осторожно относиться к способам внесения в почву азотистых туков и соблюдать при этом удобрении приемы, выработанные опытом. Но нужно иметь в виду,

что опасность вымывания питательных веществ из почвы имеет серьезное значение лишь во влажном климате; уже, например, в черноземной области промокание почвы очень неглубокое, и выносимые из верхнего горизонта вещества обычно не могут спуститься особенно низко.

Глава 6. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ

Почва со всеми живущими в ней организмами с естественноисторической точки зрения может быть рассматриваема как нечто единое, как особое тело; те процессы, которые в ней протекают благодаря жизнедеятельности этих организмов, относятся также к почвенным процессам и могут быть выделены в особую группу. С этой точки зрения извлечение организмами из почвенного раствора в процессе их жизнедеятельности различных веществ можно рассматривать как особый вид поглотительной способности почвы, как биологическое поглощение.

Почвенная микрофлора и корни высших растений обладают способностью утилизировать питательные вещества, находящиеся в почвенном растворе даже в самых ничтожных концентрациях; поэтому при достаточно развитой органической жизни большая часть этих веществ не выносится из верхних слоев почвы вниз, а перехватывается живыми организмами и переводится в ткани их тела.

Мы видели выше, что азотная кислота почвами химически не поглощается, физически же она, по-видимому, поглощается даже отрицательно; нет в почвах также в более или менее заметном количестве и поглощенного аммиака, хотя катион аммоний и способен вступать в цеолитную и гуматную части почвы; объяснить его отсутствие (или почти полное отсутствие) в почве в поглощенном состоянии можно тем, что в почвенном растворе его концентрация очень— мала, вследствие непрерывной деятельности нитрифицирующих бактерий и поглощения высшими растениями, а энергия его поглощения почвой ниже энергии поглощения и кальция и водорода. Таким образом, минеральные соединения азота в почве, эти единственные источники азотистого питания небобовых растений, непрерывно образующиеся в почве из органических соединений азота, не задерживаются почвами более или менее прочно вышеописанными видами поглотительной способности; если бы не энергично идущее в почве биологическое поглощение, то не имело бы места не только сохранение и накопление (в почвах девственных и при культуре бобовых) азотистых соединений в почве, но и вообще азот отсутствовал бы в числе почвенных элементов.

Если в отношении остальных питательных веществ почвы роль биологического поглощения и не столь велика, то, во всяком случае, оно принимает деятельное участие в сохранении этих элементов в почвенных горизонтах и в накоплении их в этих слоях. Благодаря этому поглощению верхний гумусовый горизонт почвы более богат фосфорной кислотой

и калием, нежели нижележащие слои, так как глубоко идущие корни растений усваивают питательные вещества и из нижних почвенных горизонтов, а растения таким образом переносят эти питательные элементы в верхние горизонты почвы; горизонт этот поэтому носит название аккумулятивного. Поглощенные таким способом минеральные вещества почвы и переработанные растениями и микроорганизмами в ткани их тела после смерти этих организмов сравнительно легко и быстро, но, вместе с тем, постепенно снова минерализуются и становятся доступными восприятию новыми поколениями.

Но эта поглотительная способность не только сохраняет и концентрирует различные элементы; для правильного развития организмов важно не только то, чтобы нужные им питательные вещества были бы в достаточном количестве и в усвояемой форме; необходимо также в известных границах правильное соотношение между этими веществами; такое соотношение и создается в почве, конечно, до известной степени благодаря биологическому поглощению.

Особое значение биологическое поглощение имеет на почвах песчаных, обладающих другими видами поглотительной способности лишь в очень слабой степени.

Среди животных и растительных организмов, населяющих почву, в поглощении питательных элементов почвы и в связанных с ними явлениях особенно выдающееся значение принадлежит микроорганизмам, что будет вполне понятно, если иметь в виду колоссальное их количество в почве: новейшими, более совершенными методами подсчета бактерий в почвах их обнаруживают уже миллиардами на 1 *г* почвы, а их, по-видимому, на самом деле еще больше, так как трудно предполагать, чтобы современные методы были в отношении обнаруживания микроорганизмов последним словом науки.

Глава 7. ПОЧВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС И РАСТЕНИЕ

Растение предъявляет к почве как среде, на которой оно растет, из которой получает необходимые питательные вещества, воду, кислород для дыхания корней, ряд определенных требований, от степени выполнения которых зависят успешность роста, величина и качество даваемого растением урожая.

Выполнение всех этих требований находится в теснейшей зависимости при данных топографических и климатических условиях от величины почвенного поглощающего комплекса и от его свойств: соотношения между органической и минеральной его частью, химического состава той и другой и в первую очередь от величины емкости обмена и состава обменных катионов, от механического состава поглощающего комплекса и отношения этого состава с механическим составом остальной части почвы.

Мы еще очень далеки от знания всех этих факторов в такой степени, чтобы можно было управлять ими и по желанию создавать для растения наиболее благоприятную для него культурную среду, особенно если принять во внимание, что действие этих факторов на растение находится в тесной зависимости от метеорологических и гидрологических условий и потому в различных местах будет неодинаково, а потому кроме изучения действия этих факторов на различные растения необходимо познать и указанную зависимость.

Но несмотря на далеко неполное познание все-таки некоторые общие сведения мы в этом направлении уже имеем. Уже то обстоятельство, что в последнее время и почвоведы и агрохимики вплотную заинтересовались почвенным поглощающим комплексом, с одной стороны, указывает на большое значение этой части почвы в познании почвы как таковой и во взаимоотношении между почвой и растением, а с другой стороны, является верным залогом того, что эта часть почвы и явления, связанные с ней, будут изучены.

Можно определенно утверждать, что для каждой данной почвы (собственно говоря, для данного механического состава неколлоидальной части почвы) при данных естественноисторических условиях имеется определенная величина для почвенного поглощающего комплекса, при которой создаются оптимальные условия для произрастания растений; например, для почв, богатых механической фракцией 1,0—0,01 *мм* и бедных фракцией 0,01—0,0001 *мм*, величина эта должна быть меньше, чем для почв обратного механического состава. Далее, мы знаем, что существенное значение для произрастания растений имеет не только величина поглощающего комплекса, но и его состав; последний при достаточной его величине обусловливает физические свойства почвы, от которых зависит водный и воздушный режимы почвы и обусловливаемые ими микробиологический и санитарный режимы. Однако каких-либо количественных зависимостей физических свойств почвы от общей величины поглощающего комплекса, от соотношения между органической и минеральной его частью и от механического состава его и почвы мы до сих пор еще не имеем.

Наиболее изученным в рассматриваемой области представляется вопрос о наиболее благоприятном составе в поглощающем комплексе обменных катионов в отношении создания в данной почве оптимальных физических свойств для произрастания растений. Здесь можно определенно говорить, что из всех встречающихся в естественных почвах обменных катионов (Ca, Mg, Na, K, H) наилучшие физические свойства в почве (поскольку они обусловливаются поглощающим комплексом) создает кальций: почвенный поглощающий комплекс, насыщенный полностью кальцием, дает очень прочные микроструктурные элементы с физически очень вредной фракцией пыли и подколлоидальной фракцией; остальные из перечисленных элементов и особенно Na и K, насыщая в той или другой мере поглощающий комплекс, обусловливают менее благоприятные физические свойства почвы; необходимо упомянуть, что количественная сторона этого явления также изучена еще очень мало.

Но если кальций, насыщая полностью обменную емкость почвы, создает в ней наиболее благоприятные для роста растений водный, воздушный, микробиологический и санитарный (минимальная возможность образования в почве вредных соединений, наиболее благоприятная реакция почвенного раствора) режимы, то, с другой стороны, в отношении питательного режима (особенно в отношении азотистого питания) полное насыщение поглощающего комплекса одним кальцием создает в почве малую подвижность тех соединений, из которых мобилизуются доступные растению питательные вещества; подвижность их, а значит и плодородие почвы, повышается от присутствия в почве обменного Mg и H, а особенно Na и K; уже небольшие количества этих катионов (каждого из них в соответствующем количестве) делают почвенные соединения (особенно азотистые, органические) более подвижными; для каждой почвы в зависимости от ее свойств должна существовать такая комбинация означенных обменных катионов, при которой физические свойства почвы мало чем будут отличаться от свойств почвы, полностью насыщенной кальцием, и при которой, вместе с тем, подвижность ее соединений будет достаточной для использования ее питательных элементов, остающихся при ином составе обменных катионов мертвым бесполезным запасом. Такую комбинацию надо только найти, а для этого необходимо изучить зависимость роста растений от состава обменных катионов.

Проведенные мною до настоящего времени вегетационные опыты по изучению отношения растений к почве, целиком насыщенной одним из следующих катионов: H, NH_4, Na, K, Mg, Ca, Sr, Cd, Ba, Mn, $Fe^{\cdot\cdot}$, Co, Ni, Cu, Al, $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$ дали такие результаты.

Как известно, обменного кальция в почве, как правило, всегда значительно больше, чем магния, и особенно калия; содержание же этих катионов в почве в состоянии, к обмену неспособном («необменные» катионы), обратное: кальция необменного сравнительно с необменными магнием и калием и сравнительно с количествами обменного кальция (если емкость обмена достаточной величины) сравнительно очень мало, а необменных магния и калия значительно больше. Возникает вопрос, как относится растение в отношении использования этих катионов к обменному и необменному их состояниям.

Мои опыты показали, что овес необменным кальцием не может пользоваться, тогда как необменные магний и калий являются также источниками питания овса: в то время как на почве, полностью (практически) насыщенной кальцием, т. е. при отсутствии в ней обменных магния и калия, овес успешно рос и развивался нормально без внесения в почву магниевых и калийных солей как удобрения, на почвах, в которых был вытеснен весь обменный кальций и заменен каким-либо другим, не губящим сам по себе растения (например, магнием, железом, марганцем), растения (овес) развивались только при внесении кальциевых солей как удобрения. Такое различие между этими тремя катионами можно объяснить вышеуказанными соотношениями между количествами этих катионов в обменном и необменном состояниях; по-видимому, в отсутствие в

почве обменных кальция, магния и калия вода извлекает достаточные для питания растения количества магния и калия из обильного содержания их в необменной форме, но недостаточное количество кальция вследствие малого его содержания в необменном состоянии.

Насыщение полностью емкости обмена почвы одним из вышеуказанных катионов при полном обеспечении растений азотом, фосфором, калием, магнием и серной кислотой производило на овес такой эффект.

а. *Без внесения в почву углекислого кальция*:

1) почва, целиком насыщенная кальцием, давала такой же урожай, как первоначальная почва (тучный чернозем, содержащий 45,0 *мг-экв* обменного кальция и 8,5 *мг-экв* обменного магния);

2) почва, целиком насыщенная стронцием, давала почти такой же урожай овса, как и первоначальная почва;

3) на почве, насыщенной целиком одним из нижеследующих катионов: H, NH_4, Na, K, Mg, Sr, Cd, Ba, Mn, $Fe^{\cdot\cdot}$, Co, Ni, Cu, Al, $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$, овес или совершенно не всходил, или же, взошедши, быстро погибал.

б. *При внесении в почву углекислого кальция в количестве, эквивалентном ее емкости обмена*:

1) на почве, полностью насыщенной кальцием и стронцием, урожаи овса получались такой же высоты, как и в отсутствие углекислого кальция и как на первоначальной почве;

2) на почве, полностью насыщенной водородом, внесение углекислого кальция уничтожало совершенно вредное действие этого катиона: урожаи получались такой же высоты, как и на первоначальной почве;

3) на почвах, полностью насыщенных одним из следующих катионов: NH_4, Na, K, Cd, Ba, Ni, Co и Cu, внесение углекислого кальция, т. е. обеспеченность растений всеми питательными веществами и в том числе кальцием, нисколько не отражалось на росте овса; он на этих катионах погибал так же, как и в отсутствие углекислого кальция;

4) на почве, целиком насыщенной одним из следующих катионов: Mg, Mn, $Fe^{\cdot\cdot}$, Al, $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$ овес в присутствии углекислого кальция не погибал, как это имело место без углекислого кальция, но урожаи его получались более низкие, чем на почве первоначальной.

Таким образом, обменный кальций занимает исключительное положение не только среди катионов, естественно встречающихся в почве, по отношению к созданию в почве наиболее благоприятных физических свойств, но и по его непосредственному действию на растение; такая исключительная роль принадлежит ему среди всех испытанных нами 16 катионов; исключение из этого числа катионов представляет лишь один очень близкий к кальцию по своим химическим свойствам стронций. Все остальные исследованные катионы, насыщая полностью емкость обмена почвы, или абсолютно вредны растению, губят его, или в той или другой сте-

пени и иногда очень сильно понижают урожай по сравнению с урожаями овса на первоначальной почве и на почве, насыщенной кальцием.

Вышеприведенные опыты были проведены мною с овсом; на основании полученных с этим растением результатов можно было бы сделать вывод, что обменный магний, встречающийся всегда в почвах, никакой роли в жизни растений не играет, и что, самое большее, в его отсутствие растение будет страдать от недостатка этого элемента как питательного вещества, недостатка, который в этом случае мог бы быть устранен внесением тех небольших доз какой-либо магнезиальной соли, какие даются, например, растению в песчаных культурах (чтобы показать соотношение между этим количеством, например, сернокислого магния и количеством сернокислого магния, соответствующего содержанию 1 *мг-экв* обменного Mg в 100 *г* почвы, приведу эти количества, перечисленные на слой в 20 *см* на 1 *га*: сильное магнезиальное удобрение в песчаных культурах соответствует 160 *кг* $MgSO_4$ на 1 *га*, а содержание 1 *мг-экв* обменного магния 1500 *кг*).

Так оно для овса на исследовавшейся нами почве в действительности и получилось.

Но другие растения показали иное; оказалось, что в рассматриваемом отношении разные растения проявляют себя очень различно. Мы исследовали в этом направлении кроме овса еще горчицу, лен, клевер и гречиху. Наиболее отличной от овса оказалась горчица. С рассмотрения ее отношения к обменному магнию я и начну изложение результатов, полученных мною в этом исследовании.

Когда почва содержит обменного магния столько, как в черноземах с 40—50 *мг-экв* емкости обмена, то внесение в такую почву даже очень больших количеств углекислого кальция не отражается отрицательно, по крайней мере сколько-нибудь заметно, ни на урожаях овса, ни на урожаях горчицы. Иное дело, когда та же почва лишена обменного кальция и магния полным замещением их водородным ионом, и водородный ион замещается последовательно все в большей и большей степени кальцием вносимого в почвы углекислого кальция во все возрастающих дозах. На почве, полностью насыщенной водородом, ни овес, ни горчица не растут вовсе; с внесением углекислого кальция во все повышающихся дозах (при полном удобрении, в том числе и магнезиальном, 64 *кг/га*) урожай и того и другого растения постепенно повышается от нуля и для овса достигает некоторой максимальной величины (примерно такой же, как на первоначальной почве с обменными Ca и Mg), при дозе извести, соответствующей приблизительно полному вытеснению из почвы водородного иона; дальнейшее увеличение дозы вносимого углекислого кальция почти вовсе не изменяет величины этого максимального урожая; общий урожай постепенно, но очень слабо все возрастает; урожай же зерна падает.

Максимальный урожай горчицы получается на дозе углекислого кальция, еще недостаточной для полного вытеснения из почвы обменного водорода, причем величина этого максимального урожая не ниже, чем на

первоначальной почве (с обменными Ca и Mg); отсюда ясно, что и горчица, как и овес, обеспечена магнием. С дальнейшим же повышением количества вносимого углекислого кальция урожай горчицы не остается, как у овса, примерно на той же величине, а резко падает и быстро достигает нуля. Кривая величины урожая с постепенным повышением от нуля количества углекислого кальция на почве, целиком насыщенной водородом, имеет, таким образом, вначале для обоих растений один и тот же ход — она постепенно повышается; но вторая половина кривой у них резко различна: у овса после максимальной точки урожая получается линия, почти параллельная оси абсцисс, с небольшим, быть может, уклоном вниз; для горчицы же эта вторая половина кривой от наивысшей своей точки быстро падает вниз до нулевого урожая.

Остальные исследовавшиеся три растения (лен, клевер и гречиха) по своему отношению к повышающимся дозам $CaCO_3$ на почве, целиком насыщенной водородным ионом, располагаются между овсом и горчицей; лен дает почти такую же картину, как и горчица; он также очень резко отрицательно реагирует (полная гибель) на дозы $CaCO_3$, лишь немного высшие, чем эквивалентные количеству обменного водорода в почве. На клевере резко отрицательное действие (полная гибель) начинается на более высоких дозах углекислого кальция. Еще менее чувствительной к избытку $CaCO_3$ оказалась гречиха, но и она на очень большом количестве $CaCO_3$, на котором овес развивался вполне нормально, погибла.

Совершенно иная получается картина для растений (горчица, лен, клевер и гречиха), страдающих от избытка $CaCO_3$ на почве, насыщенной полностью водородным ионом, если большие количества $CaCO_3$, на которых эти растения гибнут или очень сильно страдают, заменить эквивалентными количествами доломита ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$). На прилагаемой фотографии мы приводим часть результатов такого опыта, произведенного нами летом 1931 г. на тучном черноземе с емкостью обмена в 55 *мг-экв*, полностью насыщенном водородом (все сосуды получили полное удобрение — N, P, K, Mg). Рисунок (стр. 56) показывает, что внесение в почву 80 *мг-экв* $CaCO_3$ на 100 *г* почвы при содержании в почве около 55 *мг-экв* обменного водорода губило совершенно горчицу, лен и клевер и сильно отрицательно действовало на гречиху; замена же углекислого кальция смесью углекислого кальция и углекислого магния в равных отношениях в виде доломита в количестве, эквивалентном углекислому кальцию, давала нормальный урожай этих растений, мало отличающийся от максимального их урожая (на первоначальной почве и по 40 *мг-экв* $CaCO_3$ на почве, насыщенной водородом).

Принимая во внимание:

1) полученный положительный эффект замены губительных доз углекислого кальция такими же по величине дозами доломита;

2) обнаружение губительного действия больших доз $CaCO_3$ только на почвах с большим содержанием обменного водорода (избыток извести действует сильно отрицательно только тогда, когда при нормальных дозах ее имеется сильный положительный эффект);



Действие на растения избыточной дозы $CaCO_3$ и эквивалентного ей количества доломита [1]

Первый сосуд каждого растения — по первоначальному чернозему; остальные по тому же чернозему, полностью насыщенному водородом, причем во вторые сосуды дано по 40 *мг-экв* $CaCO_3$; в третьи — по 40 *мг-экв* доломита; в четвертые — по 80 *мг-экв* $CaCO_3$ и в пятые — по 80 *мг-экв* доломита. Все сосуды с полным удобрением

3) отсутствие вредного действия больших доз $CaCO_3$ на первоначальном черноземе, показывающее, между прочим, что $CaCO_3$ сам по себе не вредит тем растениям в тех дозах (и даже значительно бо́льших), в которых он убивает растение на сильно кислой почве;

4) понижение урожая (иногда очень значительное) на первоначальном черноземе на больших дозах $MgCO_3$, показывающее, между прочим, на то, что углекислый магний сам по себе вреден растениям (бо́льшая его растворимость, чем углекислого кальция, и сильно щелочная реакция),— принимая все это во внимание, приходим к выводу, что сильное неблагоприятное действие больших доз извести, обнаруживаемое на почвах с большим содержанием обменного водорода (гидролитической кислотности), под некоторыми растениями приходится приписать сильному

[1] На этом рисунке растения расположены в таком порядке: слева направо и сверху вниз: горчица, гречиха, лен, овес, клевер.— *Прим. ред.*

отклонению отношения между ионами Ca и Mg в почвенном растворе от его нормальной, различной для разных растений величины; так как в отсутствие в кислых почвах как таковых и после их известкования каких-либо растворимых магнезиальных солей концентрация иона магния в почвенном растворе находится в прямой зависимости от содержания его в обменном состоянии, а концентрация иона кальция в том же растворе является функцией (при избытке внесенного в почву $CaCO_3$) главным образом растворимости углекислого кальция (вытесняемый водородным ионом почвенного раствора обменный кальций по своему количеству должен занимать в этих условиях совершенно подчиненную роль *), то можно с известной вероятностью предположить, что *причиной вредного действия избыточного известкования на сильно кислых почвах под чувствительными растениями является малое содержание в них обменного магния.* С этой точки зрения очень просто объясняются все явления, отмечаемые опытами по известкованию и остающиеся до сих пор совершенно непонятными. Остановимся на них.

Почему губительное действие избыточного известкования имеет место только на тех почвах, на которых нормальное известкование очень сильно повышает урожай, т. е. сильно кислых почвах? Потому что сильно кислые почвы в своем поглощающем комплексе имеют много обменного водорода, а значит, мало обменных оснований, мало обменного магния. Когда мы имеем дело с почвой, целиком насыщенной водородом, как в вышеприводимых наших опытах, то там обменного магния вовсе нет, но растения, как мы видим, и в этом случае находят его для своего питания, черпая его из необменного состояния; таким образом, в почвенном растворе он все-таки имеется, но, очевидно, его там очень мало; но и иона кальция в почвенном растворе такой полностью насыщенной основаниями почвы тоже очень мало и даже должно быть меньше, чем магния; отношение между Ca и Mg тут не может быть ни в коем случае слишком высоким, наоборот, оно должно быть ненормально низким; в такой почве, таким образом, если мы обеспечим ее питательными веществами (N, P, K), будет два неблагоприятных фактора: высокое содержание Mg (сравнительно с содержанием Ca) и высокое содержание обменного водородного иона; когда мы вносим в такую почву углекислый кальций в дозах, постепенно повышающихся, мы сначала улучшаем оба

---

* Чтобы показать тут возможные соотношения между количествами Ca, извлекаемого водой из поглощающего комплекса и из поглощающего комплекса совместно с углекислым кальцием, приведу количества кальция, извлекаемого водной вытяжкой из тучного чернозема и из него же, смешанного с различными количествами $CaCO_3$:

	Ca, *г*
Почва без углекислого кальция	0,0028
С прибавкой $CaCO_3$ 1%	0,0108
» » » 2%	0,0116
» » » 5%	0,0123
» » » 10%	0,0128

эти фактора: постепенно понижаем содержание обменного водорода и повышаем содержание обменного кальция, вследствие чего увеличивается поэтому содержание иона кальция в почвенном растворе и тем исправляется слишком низкое отношение между Ca и Mg в питательной среде. В силу этого мы имеем и постепенное повышение урожая *.

Урожай данного растения, постепенно повышаясь вместе с повышением доз вносимого в почву углекислого кальция, достигает, наконец, максимума; это не значит, конечно, что в этом пункте достигается оптимум в отношении обоих рассматриваемых здесь факторов (содержание обменного H и величины отношения между Ca и Mg в почвенном растворе); несомненно, что оптимум для одного из них достигается раньше, чем оптимум для другого, и что для различных растений соотношения здесь будут различны; так что в точке максимального урожая мы будем иметь уже и вредное действие извести на один из этих факторов, и продолжающееся исправление другого фактора.

Начиная с этой точки, которая для всех испытанных нами растений лежит в точке полной или почти полной нейтрализации обменного водородного иона почвы (что указывает на то, что из двух наших факторов раньше достигает оптимума, с повышением количеств вносимой извести, именно отношение Ca к Mg), в зависимости от рода растений начинается или сильное, до нуля, падение урожаев (растения, чувствительные к избытку извести — горчица и лен), или почти полная неизменность величины урожая (растения, не чувствительные к избытку извести, овес), или же, наконец, падение урожая, но не столь сильное (растения, средне чувствительные к избытку извести).

В то время как в отношении нейтрализации водородного иона почвы и создания известной величины pH в почвенном растворе дальнейшее повышение доз извести выше той, при которой получается максимальный урожай (при постоянстве степени благоприятности второго фактора, отношения Ca к Mg), не может отразиться сколько-нибудь неблагоприятно на росте большинства по крайней мере с.-х. растений (пределы pH возле нейтральной точки вверх и вниз для нормального роста растений, особенно когда щелочность вызывается углекислым кальцием, довольно широки, и избыток углекислого кальция может лишь несколько понижать урожай, но во всяком случае не губить его), в отношении фактора Ca : Mg дело складывается совершенно иначе: с постепенным увеличением количества вносимой в почву извести постепенно же увеличивается количество в почве обменного кальция, а чем в большей степени емкость обмена насыщена данным катионом, тем рыхлее он связан в поглощающем комплексе, тем легче он вытесняется из почвы водородным ионом воды, тем больше его будет в почвенном растворе; тем, значит, больше становится отношение Ca: Mg; когда же в почве получается

---

* Для оценки этих данных надо еще принять во внимание, что бывшая в этом опыте почва имела очень высокую емкость обмена (около 55 *мг-экв*) и очень много обменного кальция (около 47 *мг-экв*).

избыток $CaCO_3$ сверх его количества, идущего на нейтрализацию почвы, сразу отношение Ca : Mg в почвенном растворе очень сильно повышается (с дальнейшим же повышением дозы $CaCO_3$ количество кальция в растворе будет увеличиваться уже очень медленно, а вместе с тем будет только очень медленно повышаться отношение Ca : Mg); этим объясняется резкий скачок, наблюдаемый на почве, полностью насыщенной водородом, в действии избыточного известкования на лен и горчицу: уже действующее за оптимальным количество $CaCO_3$ вызывает их полную гибель (в нашем опыте 50 *мг-экв* $CaCO_3$ на 100 *г* почвы давали оптимум урожая, при 55 *мг-экв* горчица и лен не давали почти вовсе зерна, а при 57,5 *мг-экв* окончательно гибли).

Совершенно ясно, что чем ближе естественная кислая почва приближается к почве, полностью насыщенной водородом, чем, значит, меньше в ней обменного магния, тем скорее можно ожидать проявления на ней вредного действия избыточного известкования; не исключая, конечно, и такие случаи, когда в почве много и обменного водорода (гидролитической кислотности) и обменного магния; для суждения о почве в рассматриваемом отношении надо знать и то и другое. Возможно, что доза $CaCO_3$, начинающая вредить чувствительным растениям, зависит от величины емкости обмена и от содержания гумуса в почве, так как от него зависит количество углекислоты в почвенном растворе, а значит, и растворимость $CaCO_3$. Из изложенного становится совершенно понятным, что оптимальная доза извести под одним и тем же растением, но на разных почвах, имеющих одинаковую гидролитическую кислотность, будет, вообще говоря, различной. Одной величины гидролитической кислотности заведомо недостаточно для определения оптимальной дозы.

Почему на естественных черноземах, полностью насыщенных кальцием и магнием, углекислый кальций даже в громадных дозах не вредит горчице? Потому что в этих почвах имеется достаточно обменного магния: возможно даже, что будут и такие черноземы, в которых отношение обменных Ca : Mg (а значит, и находящихся в почвенном растворе) меньше, чем оптимальное, в которых магния больше, чем нужно для максимального урожая того или другого растения; в этом случае известкование почвы, полностью насыщенной основаниями, т. е. не обнаруживающей гидролитическую кислотность, может дать даже положительный эффект.

Работы по значению обменного магния в почве для произрастания растений мною только начаты; имеется целый ряд вопросов, требующих экспериментального исследования. Как видно из вышеизложенного, моя теория значения отношения Ca : Mg в вопросах известкования близко примыкает к старой, теперь совершенно заброшенной (по крайней мере агрохимиками) теории Loew; в том виде, в каком она была дана, она представляла собой физиологическую теорию, кажется, вполне подтверждающуюся водными и песчаными культурами, но для почв она была неприложима. Мною она расширена (Loew имел в виду только понижающее урожай действие неправильного отношения Ca : Mg, я ее рас-

пространяю на гибельное действие) и применена к вопросам агрохимии проведением ее через почвенный поглощающий комплекс.

Приведенными здесь исследованиями мы поднимаем совершенно новые вопросы в агрохимии: о значении обменного магния для растений, о значении соотношения между обменными катионами, естественно встречающимися в почве (Ca, Mg, K, Na, H); а также такими, которые хотя и не встречаются естественно в почве, но которые практически и экономически возможно ввести в почву. Уверен, что агрохимическая работа в этом направлении может дать практически интенсивные и важные выводы, так как убежден, что при социалистических формах земледелия даже такие сложные мероприятия, как коренное изменение состава поглощающего комплекса почвы, вполне осуществимы; для капиталистических же государств с их бесплановостью, кризисами и хищническим хозяйством такие мероприятия совершенно недоступны.

В заключение должен указать, что вопрос об обменном магнии в почве может иметь для практики мелиорации солонцов такое же совершенно значение, как и для практики известкования, только с той разницей, что в кислых почвах причиной недостатка обменного магния в почве является вытесняющий его водород, а в солонцах — натрий. В тех солонцах, в которых содержание обменного натрия по отношению ко всей емкости обмена будет слишком мало (бывают солонцы и с очень высоким содержанием обменного магния), полная замена обменного натрия кальцием гипса, и особенно избыток гипса, должны создать неблагоприятное отношение в почвенном растворе между Ca и Mg; оно будет слишком высоко для тех или других растений; гипс будет оказывать кроме благоприятного влияния (при удалении, конечно, Na_2SO_4) вредное действие, создавая слишком высокое отношение Ca : Mg *.

Прилагаю список моих работ, которые послужили основой изложенного в настоящей монографии:

1908 г. Коллоидальная химия и почвоведение. —Журн. оп. агр., т. 9, стр. 272.

1911 г. На каких почвах действует фосфорит. Почвы, насыщенные и не насыщенные основаниями.— Журн. оп. агр., т. 12, стр. 529.

1912 г. Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. 1. Коллоидальные вещества в почвенном растворе. Образование соды в почве. Щелочные солонцы и солончаки.— Журн. оп. агр., т. 13, стр. 363.

1914 г. Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. 2. Скорость обменных реакций в почве. Коллоидальность почв, насыщенных различными основаниями, и красочный метод определения количества коллоидов в почве.— Журн. оп. агр., т. 14, стр. 181.

---

* Вопрос о значении для растений различных обменных катионов и их соотношения вообще и, в частности, соотношения между кальцием и магнием, очень сложен и трудно поддается экспериментальному изучению. Я, конечно, совершенно пе думаю, что вопрос о значении отношения Ca : Mg моими вышеприведенными опытами разрешен уже для практики; публикуя здесь свои предварительные данные, я хочу лишь обратить внимание на значение этого вопроса, для разработки которого, особенно в конкретных формах, необходима работа коллектива агрохимиков наших отраслевых институтов и опытных учреждений.

1916 г. Поглотительная способность и почвенные цеолитные основания.— Журн. оп. агр., т. 17.

1917 г. Засоленные почвы и их улучшение.— Журн. оп. агр., т. 18, стр. 122.

1918 г. К методике определения цеолитных оснований в почве.— Журн. оп. агр., т. 19.

1918 г. Материалы к познанию поглотительной способности почв. 1. Скорость поглощения, емкость поглощения и энергия поглощения и вытеснения.— Журн. оп. агр., т. 19, стр. 269; т. 20, стр. 31.

1921 г. Почвы, не насыщенные основаниями. Методика определения в почвах водородного иона, находящегося в поглощенном состоянии. Потребность почвы в извести как нейтрализаторе ненасыщенности.— Журн. оп. агр., т. 22, 1921—1923, стр. 1.

1921 г. Солянокислый метод определения в почве катионов, находящихся в поглощенном состоянии.— Журн. оп. агр., т. 22, стр. 53.

1922 г. Ультрамеханический состав почвы и зависимость его от рода катиона, находящегося в почве в поглощенном состоянии. Известкование как мера улучшения ультрамеханического состава почвы.— Журн. оп. агр., т. 22, 1921—1922, стр. 29.

1925 г. Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации. В 1927 г. второе дополн. издание.— Изд. Носовской с.-х. оп. станции.

1926 г. Осолодение почв. Изд. Носовской с.-х. оп. станции.

1926 г. Почва как культурная среда для сельскохозяйственных растений. Почвенные коллоиды и солонцеватость почв.— Изд. Носовской с.-х. оп. станции.

1926 г. К вопросу о почвенной структуре и с.-х. ее значении.— Изв. Ин-та оп. агр., т. 4, № 3.

1928 г. Солонцы, их происхождение, свойства и мелиорация.— Изд. Носовской с.-х. оп. станции.

1930 г. К вопросу об обменном водороде и об обменном алюминии в кислых почвах.— Почвоведение, № 5.

1930 г. Почвенные обменные катионы и растение. 1. Доступность растению кальция, магния и калия, находящихся в почве в состоянии, к обмену неспособному. Отношение растения к некоторым катионам полностью насыщающим емкость обмена почвы.— «Удобрение и урожай», № 6.

1931 г. Почвенные обменные катионы и растение. 2. Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и обменного магния в почве.— «Удобрение и урожай», № 11.

1931 г. Действие перекиси водорода на почву.— «Удобрение и урожай», № 9 и 10.

1932 г. Почвенный поглощающий комплекс, растение, удобрение и мелиорация.— «Химизация соц. земледелия», № 1.

ПОЛОЖЕНИЕ ВОПРОСА О СТРУКТУРЕ ПОЧВЫ [1]

Вопрос о структуре почвы является одним из очень важных вопросов земледелия; но, несмотря на это, необходимо совершенно определенно сказать, что вопрос этот находится еще в такой стадии, что говорить сейчас об едином, общепринятом его разрешении по меньшей мере странно.

Достаточно даже бегло просмотреть литературу по структуре почвы, чтобы убедиться, как мало вопрос этот до настоящего времени изучался, как мало исследований, особенно опытного характера, было ему посвящено, хотя о самой структуре и ее значении говорилось и писалось довольно много и иногда чрезвычайно детально, с такими подробностями, что человеку, недостаточно знакомому с литературой вопроса, может показаться, что здесь все ясно и определенно; на самом же деле эти трактовки очень субъективны, в значительной степени умозрительного характера и не опираются на необходимый для делаемых выводов фактический материал, которого и на самом деле нет.

Одной из существенных причин такого положения вещей является сама сложность вопроса о структуре и ее практическом значении, особенно если вопрос этот брать целиком, во всей его обширности. Прежде всего дело тут в том, что вопрос о структуре чрезвычайно близко соприкасается с целым рядом других вопросов почвоведения и в той или другой степени в своей разработке зависит от состояния этих вопросов.

Достаточно указать тут для пояснения этой мысли лишь на некоторые моменты. Прежде всего необходимо ясно сознавать, что практически и безошибочно овладеть явлением структурности можно лишь тогда, когда оно будет достаточно изучено. Но явление структурности — в основе своей, несомненно, коллоидально-химическое, усложняемое к тому же влиянием других неколлоидальных механических фракций почвы: лишь в самое последнее время ясно и определенно установлен характер этого явления и самая тесная зависимость видимой на глаз структурности от микроструктурности почвы (самое это понятие появилось в почвенной литературе лишь несколько лет тому назад), и в указанных направлениях почвоведение, несомненно, сделало большой шаг

---

[1] Воспроизводится по статье, напечатанной в книге «Материалы к выяснению вопроса о структуре почвы». М.— Л., Сельхозгиз, 1933.

вперед; но этим заложено пока только начало систематического изучения явления структурности, главное же и наиболее трудное лежит еще впереди: в самой коллоидальной химии, данными которой приходится пользоваться почвоведам, и на которых приходится им базировать свои исследования. Вопросы, связанные с явлением структуры (особенно микроструктуры), еще далеко не достаточно выяснены, а в отношении того, что здесь уже изучается, часто нет еще общепринятого заключения. Таким образом, для познания структуры как почвенного явления придется еще много и усиленно поработать и почвоведам и чистым коллоид-химикам.

На основании общих соображений мы давно уже знаем, что аэрация почвы, утилизация выпадающих атмосферных осадков и талых вод, сохранение задержанной в почве влаги,— все это в значительной степени зависит от того, структурна ли почва или бесструктурна, и, если она структурна, то от характера самой структурности *, но подход к количественному изучению означенных зависимостей до настоящего времени очень затруднителен (особенно если иметь в виду необходимость изучения этих зависимостей не в искусственных, а в естественных природных условиях, о чем я скажу ниже) еще и потому, что методика изучения физических свойств почвы, а в частности, воздушного и водного режимов почв, очень несовершенна и громоздка. Здесь опять-таки в последние годы сделано очень много, но далеко еще не столько, чтобы считать эту методику сколько-нибудь достаточно разработанной.

Далее, на основании теоретических предпосылок и имеющегося, правда, очень скудного и далеко не безупречного, фактического материала мы знаем, что *динамика плодородия почвы должна находиться в зависимости от характера структурности почвы,* так как она, несомненно, тесно связана с динамикой тех почвенных процессов (воздушный, водный *и микробиологический* режим почвы), направление которых в той или другой степени регулируется физическим состоянием почвы; но здесь опять-таки количественная сторона этой зависимости нам почти вовсе неизвестна; особенно это справедливо, если иметь в виду истинное плодородие почвы, т. е. степень обеспеченности растений питательными веществами в естественной обстановке их произрастания, а не то плодородие, которое определяется нами с помощью различных суррогатов естественного метода, каковыми, несомненно, являются все наши лабораторные и различного рода вегетационные методы. А наши сведения о зависимости динамики, плодородия от структурности почвы получены почти исключительно таковыми методами. Указывая на это, я вовсе не хочу этим сказать, что исследования проблемы структурности, которые

* Очень характерно для выявления положения вопроса о структурности то обстоятельство, что мы до сих пор говорим о «бесструктурной» и «структурной» почве, а между тем совершенно ясно, что есть структура и структура, и что могут быть такие случаи, когда различие в свойствах данной почвы при двух различных видах ее структурности будет больше, нежели между той же почвой в бесструктурном состоянии и при той или иной ее структурности.

были здесь произведены этими методами, оказались ненужными, бесполезными, не послужили к выяснению вопроса: при известном состоянии сложного вопроса в известное время приходится волей-неволей прибегать к косвенным методам.

Уже одно взятие почвенного образца с места его естественного залегания и подготовка его для исследования на плодородие при различной структуре (пребывание на воздухе, отбирание или отсеивание структурных элементов, растирание для получения бесструктурной почвы и т. д.) может очень сильно изменить состояние доступности питательных веществ растению. Степень влияния всех этих манипуляций на плодородие будет, конечно, очень сильно зависеть от характера самой почвы; для одной почвы оно проявится слабее, для другой — сильнее. Эти изменения в некоторых случаях могут быть настолько сильны, что влияние в дальнейшем опыте различия в характере структуры может в той или другой степени стушевываться; возможны даже случаи получения обратных соотношений; например, предварительная подготовка почвы может повысить доступность того или другого питательного вещества почвы в подготовленной бесструктурной ее части, больше чем в подготовленной структурной части, дальнейшие более благоприятные условия для процессов мобилизации питательных веществ в этой структурной части в самом уже опыте или в самом уже исследовании не смогут настолько повысить плодородие, чтобы даже сравнять его с плодородием бесструктурной части почвы, и мы получим в результате исследования отрицательное действие структурности.

Такой случай, повторяю, вполне мыслим; будет ли он иметь место в данном конкретном исследовании, и вообще насколько в каждом данном случае предварительная подготовка почвы может извратить конечные результаты — сказать заранее, конечно, невозможно; в этом-то обстоятельстве и кроется наибольшая опасность подобного рода исследований и делаемых из них без достаточно критического отношения выводов, т. е. именно в полной неизвестности степени приближения этих выводов к почвам в их естественном состоянии.

Кроме момента подготовки почвы и само дальнейшее сравнительное исследование приготовленной бесструктурной почвы и почв с различной структурой, как лабораторное, так и вегетационное, заключает в себе по необходимости ряд условий, отклоняющих полученные результаты от тех, какие получились бы исследованием почвы в ее естественном состоянии.

При лабораторном исследовании применяющиеся вытяжки или извлекают меньше того, что может брать растение (например, водная вытяжка: имею в виду питательные вещества, находящиеся в почве в трудно растворимом состоянии: фосфор, калий) — или обратно, извлекают больше (совершенно тщетная погоня за отысканием растворителя, извлекающего столько же вещества, как и растение, не прекращается, к сожалению, и до последнего времени). Совершенно ясно, что в первом случае растворитель может и не извлечь всю ту прибавку данного ве-

щества, на которую повысилась его доступность вследствие лучших условий мобилизации; во втором же случае растворитель может извлечь вещества настолько больше, чем растение в тот или другой период, что усиление растворимости этого вещества под влиянием той или другой структурности будет совершенно неуловимо или обнаружится недостаточно определенно.

Кроме того, на результатах действия того или другого растворителя, несомненно, будет сказываться не только то, что взятые для анализа образцы почвы до взаимодействия с этим растворителем были, вследствие различной их структурности, в различных условиях (что, собственно, мы и должны учесть), но и то, что при взаимодействии с растворителем почва имеет неодинаковую структурность, а значит, и неодинаковую поверхность соприкосновения, что, конечно, не может оставаться без влияния на растворение, но что, вместе с тем, не должно бы нами учитываться.

Особенно опасны для познания значения структурности почвы в ее естественных условиях выводы, делаемые на основании вегетационных опытов различных модификаций. Что лабораторные данные исследования вопросов, связанных с динамикой почв в их естественном состоянии, могут быть очень далеки от того, что на самом деле имеется в почве, это уже если не вполне, то в значительной степени проникло в сознание почвоведов и агрохимиков; иначе дело обстоит в отношении вегетационных методов: и по настоящее время многие еще считают, что полученные вегетационным путем выводы могут быть применены непосредственно к почве в ее естественном состоянии (на это, между прочим, указывает сильное увлечение в этом отношении различными модификациями вегетационного метода), несмотря на то, что условия произрастания растений в вегетационном опыте, независимо от той или другой модификации самого метода, резко отличаются от естественных. А между тем, в отношении непригодности этого метода для изучения влияния структурности почвы на растение в естественных условиях его произрастания вопрос особенно ясен.

Давно уже показано, что вообще физические свойства почвы, оказывающие такое громадное влияние на производительность почвы в ее естественном залегании, совершенно иначе преломляются в вегетационном сосуде, что переносить выводы из вегетационного опыта на почву в ее естественных условиях совершенно невозможно, ибо условия проветривания почвы и снабжения водой растений в сосудах резко отличаются от условий в поле. Легко видеть, что аэрация в вегетационном сосуде, даже при внесении в сосуд воды до полной влагоемкости почвы, если только поливка не непрерывная (например, раз или два раза в день), во много раз лучше, чем в полевой обстановке (проникновение воздуха через трубку для поливки, между стенками сосуда и почвой, с поливной водой, дренаж, залегающий на небольшой глубине).

Хорошая аэрация и искусственное снабжение растений водой в оптимальном количестве в вегетационных опытах создают в этих опытах

особенно благоприятные условия для всех тех процессов, которые в том или другом отношении зависят от воздушного и водного режима почвы, а так как плодородие почвы, санитарные свойства почвы и способность растений использовать внесенные в почву питательные вещества находятся в первой зависимости от этих процессов, то само собою понятно, что в условиях вегетационного опыта структурность почвы не может иметь того влияния на рост растений, какое она может оказывать в полевой обстановке, так как все те факторы роста растения, которые в полевой обстановке улучшаются «хорошей» структурой, в почве вегетационного сосуда улучшаются в гораздо большей степени самими условиями метода.

Нельзя не обратить, далее, внимания на то, что при изучении влияния структурности почвы на рост растений исследователи обращают внимание почти исключительно на пахотный слой, и когда поднимается вопрос о создании или поддержании структуры почвы, то почти всегда имеется в виду лишь этот слой почвы. Здесь, как и во многих других вопросах земледелия, недооценивается значение нижележащих горизонтов почвы, и особенно подпахотного, влияние которого на произрастание растений может быть заметное, а иногда и громадное. Наверное можно сказать, что относительное значение пахотного и подпахотного слоев в проблеме структурности не всегда одинаково, так как и в этом отношении зональность, условия генезиса почв, а также механический состав и близость грунтовых вод накладывают свой отпечаток, но что иногда роль структурности подпахотного слоя может иметь даже большее значение, нежели пахотного горизонта,— это положение можно обосновать теоретически и можно привести конкретный пример этому.

То неблагоприятное соотношение между водным и воздушным режимами, которое является следствием бесструктурности почвы или непрочности структурных элементов почвы в мокром ее состоянии, и которое создает неблагоприятные условия для жизни растений, должно особенно резко сказываться при близком сравнительно залегании грунтовых вод именно в тех слоях почвы, которые, с одной стороны, являются еще местопребыванием корней, питательной средой для растения, и с другой стороны, настолько удалены от поверхности почвы, что проникновение в их массу атмосферного воздуха даже в периоды высыхания пахотного слоя и в периоды его искусственного рыхления становится затруднительным. А таким слоем и является как раз подпахотный горизонт. Поэтому при известном комплексе естественноисторических условий места как раз в этом слое и должны сконцентрироваться все те неблагоприятные последствия, какие влечет за собою плохая аэрация, а именно пониженная, а в некоторых случаях совершенно подавленная аэробная микробиологическая деятельность, усиленная, наоборот, анаэробная деятельность, что совместно с создающимся здесь направлением химических процессов обусловливает в этом горизонте, с одной стороны, пониженную мобилизацию питательных веществ, а с другой — антисанитарные условия для жизни растений, влекущие за собой слабое развитие

растений, а потому и плохое усвоение и тех небольших количеств доступных растению питательных веществ, которые здесь могут образоваться и которые попадают сюда из пахотного горизонта.

Многолетние работы руководимого мною агрохимического отдела Носовской сельскохозяйственной опытной станции показали, что изложенный выше случай имеет место в районе этой станции. Вследствие своеобразных условий почвообразовательного процеса в области днепровского ледникового языка, в северной половине которого расположена Носовская станция, почвы этой области очень сильно обеднены коллоидальной (особенно органической) фракцией, в силу чего в них создалось очень неблагоприятное для образования структуры соотношение между количествами этой и пылеватой фракции; почвы эти или бесструктурны (там, где процесс осолодения дошел до конца) или структурны в сухом и бесструктурны во влажном состоянии (где рассолонцевание еще не закончилось).

Нужно отметить, что почвы Носовского района — черноземного типа почвообразования, видоизмененного дальнейшими процессами (засоление, осолонцевание и осолодение), в результате которых получившиеся осолодевшие почвы этого района сохранили внешний габитус черноземной почвы с глубоким гумусовым горизонтом, содержание гумуса в котором постепенно, по типу черноземных почв, падает с глубиной, но, в отличие от нормальных черноземов, содержание гумуса в этих носовских черноземах сильно понижено (всего около 3%). Таким образом, подпахотный слой этих почв содержит, хотя, конечно, и меньше гумуса, чем пахотный, но сравнительно все-таки заметное количество. Кроме того, надо отметить сравнительно высокое стояние грунтовых вод в этом районе.

Оба эти фактора не могли не отразиться на особом влиянии бесструктурности почвы на свойства подпахотного горизонта. Всестороннее исследование агрохимических свойств этих почв показало, что как раз в этом подпахотном горизонте сконцентрировались отрицательные для жизни растений стороны неблагоприятного соотношения между воздушным и водным режимом, явившегося результатом бесструктурности этих почв. Результаты исследования показали, например, что санитарные условия для жизни растения здесь заметно хуже, чем в пахотном горизонте и в подпочве, что горизонт этот содержит (или содержит в большем количестве, нежели пахотный горизонт) какие-то вредные вещества, задерживающие развитие растений и использование питательных веществ, что жизнедеятельность аэробных микробов здесь очень сильно понижена, так что, например, нитрификация внесенных искусственно аммиачных солей значительно ниже здесь не только по сравнению с пахотным горизонтом, но и сравнительно с подпочвой. Исследование корневой системы различных растений показало, что в этом промежуточном горизонте она развивается заметно слабее, нежели в выше- и нижележащем.

Далее, оказалось, что уже однолетняя культура клевера морфологически сильно изменяет носовскую почву: стенка почвенного разреза,

имеющая при отсутствии культуры клевера слитой, бесструктурный вид, приобретает совершенно ясную структурность: вместе с этим исследование показывает понижение интенсивности всех вышеуказанных отрицательных свойств в подпахотном горизонте.

Таким образом, в почвах Носовской опытной станции их резко выраженная бесструктурность, создавая неблагоприятные условия для жизни растений, главным образом в подпахотном горизонте, сильно понижает их агрономическую ценность; при введении в севооборот клевера почвы эти приобретают структурность, вместе с чем улучшаются их агрономические свойства *.

Мы совершенно не считаем возможным обобщать результаты, полученные для почв Носовского района, и переносить следуемые из них выводы на почвы других местностей, с иными естественноисторическими условиями, так как несомненно, что и сама структурность почвы есть явление зональное, находящееся в тесной зависимости от генезиса почвы и современных естественноисторических условий; так и влияние той или другой имеющейся в почве структурности на агрономические свойства почвы тесно связано с климатическими, топографическими и гидрологическими условиями местозалегания почвы.

В заключение набросаю в самых общих чертах главные моменты программы изучения проблемы структурности почвы, как я ее себе мыслю, не касаясь вовсе отдельных подробностей. Само собой, мне кажется, что в столь малоизученном, а вместе с тем в столь сложном и широком вопросе какая-либо более или менее детальная программа невозможна; если же таковая будет представлена, то она, несомненно, будет нежизненна; первые же шаги в ее осуществлении покажут необходимость ее коренного изменения.

Прежде всего нужно подчернуть, что удовлетворительное разрешение этой проблемы, под которым я понимаю доведение ее до такой стадии, при которой возможно сделать необходимые для практики выводы, достаточно обоснованные и достаточно достоверные (по крайней мере настолько, чтобы эти выводы стали если не общепризнанными, то все же согласными с воззрениями большинства), требует глубокого научного изучения явления структурности в самом широком смысле этого слова.

---

* Относящиеся сюда данные опубликованы в следующих работах:

К. Гедройц. Почва как культурная среда для сельскохозяйственных растений. Изд. Носовск. оп. ст., вып. 41, 1926.

Ф. Германов и *В. Тарановская.* Краткий отчет агрохимического отдела за 1924 г. Изд. Носовск. оп. ст., вып. 41, 1926.

Ф. Германов и *В. Тарановская.* Нитрификация в почве опытного поля Носовской опытной станции. Изд. Носовск. оп. ст., вып. 45, 1927.

Ф. Германов. Основное направление в изучении микробиологических свойств чернозема Носовской станции. Изд. Носовск. оп. ст., вып. 71, 1928.

Кроме того, материалы по этому вопросу имеются в подготовленной к печати статье *Н. Сушкиной* «Влияние клевера на микробиологию носовских почв» и в подготовляющемся к печати отчете агрохимического отдела Носовской станции.

В настоящее время изучение его находится еще в такой начальной стадии, когда совершенно не известно, в каком направлении будет найден правильный путь изучения частного случая этой общей проблемы — проблемы почвенной структуры, причем я должен подчеркнуть, что изучение общей проблемы не должно ограничиваться какими-либо рамками, вытекающими из потребности этой частной проблемы почвенной структуры; оно должно быть возможно широко, так, например, при ее изучении необходимо оперировать не только с теми коллоидальными веществами, которые нам известны в почве, и не только в тех условиях, которые имеют место по нашему теперешнему представлению о почве; только в этом случае можно будет найти те общие законы, которые управляют явлением структурности вообще и, в частности, почвенной; для пояснения мысли укажу, например, на явление обмена в почвах: если бы при его изучении исследователи ограничились обменными катионами, известными в почве в то время, когда началось коллоидально-химическое его изучение, т. е. кальцием и магнием, и в исследование не был бы включен целый ряд других катионов, из которых многие заведомо в почве присутствовать не могут, то мы и до сих пор не знали бы ни об обменном в почве натрии (т. е. не был бы выяснен генезис солонцов и дальнейшая их эволюция), ни об обменном в почве водороде (т. е. мы не знали бы сущности подзолообразования и деградации солонцов и черноземов), и не имели бы известных теперь общих законов, управляющих явлениями обмена вообще и в почве в частности.

Само собой разумеется, что такая постановка вопроса вовсе не исключает необходимости при изучении общего явления структурности почвоведами и агрохимиками всегда иметь в виду свою главную цель — познание почвенной структурности; тут надо уметь согласовать требования общего с требованием частного. Я указал здесь на почвоведов и агрохимиков и сделал это вполне сознательно: мы не должны ждать, что кто-то (например, чистые коллоид-химики) разработает для нас эту общую проблему структурности и что тогда мы ее возьмем готовой и приспособим к нашему частному случаю. Конечно, может быть, это и будет так, но, с другой стороны, может быть, придется ждать этого и много времени; гораздо надежнее будет, если мы сами примем в этой разработке ближайшее участие, конечно, по возможности полностью используя данные коллоидальной химии.

Наряду с постановкой различных исследований по общей проблеме структурообразования должно вестись лабораторное изучение вопросов, непосредственно связанных с проблемой почвенной структурности, както: 1) разработка методики определения структурности и ее прочности, 2) изучение сравнительной роли в структурообразовании различных почвенных структурообразователей и прежде всего органической и минеральной части коллоидальной фракции почвы, 3) изучение условий взаимоосаждения коллоидальных гидратов окисей алюминия, железа, кремнекислоты и гумусовых веществ и состава и свойств продуктов осаждения, 4) изучение различных механических фракций коллоидальной части

почвы с точки зрения способности их давать структуру той или иной величины и прочности, 5) изучение роли и значения различных неколлоидальных механических фракций почвы и соотношения между ними в результатах действия различных почвенных структурообразователей и т. д. Отдельных вопросов в этой области очень много.

Параллельно с лабораторным изучением общих вопросов структурообразования, и в том числе почвенного структурообразования, необходимо расширить и углубить изучение конкретной, встречающейся в почвах структуры; изучение это должно состоять не только в констатировании, описании величины, формы и степени прочности имеющихся в почве структурных элементов, но и в выяснении зависимости этих свойств в каждом конкретном случае от почвообразовательного процесса и в выявлении ближайших причин и факторов, определяющих данную структуру.

Далее, необходимо продолжить лабораторное изучение влияния структурности на водные свойства почвы при увлажнении почвы снизу и сверху; при проведении этих опытов нужно уже отказаться от узких стеклянных трубок, а проводить их в колоннах почвы значительно большего поперечного сечения и большей высоты, причем как с насыпной почвой, так и естественной, во взятых для этой цели монолитах. Конечно, все это сложнее и будет стоить дороже, чем постановка шаблонных лабораторных опытов, практикующихся до настоящего времени, но вопрос структурности настолько важен и актуален, что считаться с этими побочными обстоятельствами совершенно неправильно.

Вот перечень главнейших моментов лабораторного изучения проблемы структурности, не претендующий вовсе ни на полноту, ни на детализацию; но уже он показывает на необходимость большой научно-исследовательской работы.

Наряду с изучением этой проблемы в чисто лабораторных условиях совершенно необходимо и вполне возможно, как показывает хотя бы опыт Носовской станции, изучать ее в естественных условиях, применяя, конечно, известные нам лабораторные методы. Из мыслимой программы изучения проблемы структурности это наиболее трудная часть ее как в отношении составления самой программы, так и в отношении ее выполнения. Одно можно сказать вполне определенно, что в каждой естественноисторической области подход к этому изучению должен быть свой, вытекающий из всей совокупности как почвенных, так и внешних условий; различен должен быть подход к этой проблеме и для почв различного механического состава. Как самое явление структурности, так и влияние данной структурности на жизнь растения тесно связаны со свойствами почвы, с историей ее образования и с современными естественноисторическими условиями местозалегания почвы, поэтому вполне понятно, что и удельный вес проблемы структурности и тот путь, которым исследователь должен подходить к теоретическому и практическому развитию и разрешению этой проблемы, не может быть всегда и всюду одинаковым.

Совершенно особое место в програме научно-исследовательских работ по изучению структурности почвы занимает вопрос о выработке приемов воздействия на почву в целях сохранения или создания в ней желательной, наиболее благоприятной для урожайности структуры. Здесь я прежде всего хотел бы подчеркнуть, что, по моему мнению, совершенно неправильно считать структурность (или тот или другой вид структурности) со стороны действия ее на факторы роста растения явлением только положительным, а бесструктурность — свойствам почвы только отрицательным. Если говорить в этих очень неопределенных терминах, то нужно сказать, что как то, так и другое (т. е. как структурность, так и бесструктурность) имеют свои положительные и свои отрицательные стороны.

Утверждение, что в структурности — все хорошее, а в бесструктурности — все плохое, не выдерживает, по-моему, никакой критики. К такому выводу можно придти, если не считаться со всей совокупностью условий, влияющих на рост растений; если же исходить от данного конкретного случая: данной почвы, данных климата, гидрологии, топографии и т. д., которые остаются те же, независимо от того, придадим ли мы этой почве структурность или нет, то в каждом таком конкретном случае легко увидим и некоторые отрицательные влияния структуры, и некоторые положительные стороны бесструктурности *. В одних случаях отрицательное влияние структурности будет минимальным, с ним можно будет вовсе не считаться, а положительный эффект будет так значителен, что в таких случаях может быть, действительно, следует стремиться к созданию и поддержанию структурности «во что бы то ни стало, не стесняясь никакими расходами»; но, с другой стороны, могут быть и такие случаи, где наряду с отрицательным влиянием структурности, положительное ее действие будет практически так ничтожно, что не будет никакого смысла заботиться о ней. Между этими двумя категориями случаев могут быть всевозможные переходы.

Можно пойти еще дальше, а именно можно сказать с довольно большой вероятностью (но все-таки далеко не полной, для этого у нас нет достаточных оснований), что в общем и целом положительный эффект от структурности превышает возможное отрицательное ее действие, а от бесструктурности — наоборот, но, во-первых, в отдельных, частных случаях мыслимы и исключения и, во-вторых, в различных случаях опти-

* Например, при известных условиях увлажнения в структурных элементах может быть сильно подавлена нитрификация, и так как высыхание структурной почвы происходит значительно медленнее, нежели бесструктурной (в этом положительное влияние структурности в местностях с недостаточным количеством атмосферных осадков или с неблагоприятным их распределением), то периоды с подавленной нитрификацией в структурных элементах будут продолжительнее, нежели в бесструктурной массе; там, где азотистые органические соединения почвы отличаются вообще малой подвижностью и потому почва бедна доступным азотом (наши черноземы), там такое влияние структурности может быть отрицательным. Антагонизм между водным и воздушным режимами проявляется не только в бесструктурной почве, но и в структурных элементах структурной почвы.

мальной структурой будет не одна и та же степень ее выраженности. Если даже допустить, что в большинстве районов эффективность структуры настолько велика, что заботиться о ней надо, то и при таком, несомненно, несколько пристрастном и недостаточно обоснованном в пользу структурности отношении должно быть совершенно ясно, что прежде чем во что бы то ни стало добиваться структурности, надо эти районы выявить и надо, вместе с тем, решить тут целый ряд сопутствующих вопросов, как-то: в каком горизонте особенно необходима структурность, что понимать под наиболее благоприятной структурой, в какой период вегетации она имеет особое значение, как долго она при данных условиях местозалегания почвы может сохраняться и т. д.

Думаю, что широкое использование в практике явления структурности почвы без достаточной обоснованности и без необходимого объективного отношения в каждом конкретном случае будет очень легкомысленно.

Далее я думаю, что, если ставить на очередь дня изучение воздействия различных приемов культуры (механической обработки почвы, влияния корневой системы различных растений, влияния удобрения, особенно органического), его нельзя ограничивать лишь вопросами структурности; программа таких исследований должна охватить наряду со структурностью по возможности весь вопрос о влиянии этих приемов на агрономические свойства почвы. Особое внимание, по-моему, нужно обратить теперь на воздействие на почву корневой системы различных растений, для чего при теперешней системе отраслевых институтов имеются особенно благоприятные условия.

ЖИЗНЬ И НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АКАДЕМИКА К. К. ГЕДРОЙЦА

А. А. Роде

Константин Каэтанович Гедройц родился 6 апреля (25 марта по старому стилю) 1872 г. в г. Бендеры бывшей Бессарабской губернии (ныне — Молдавская ССР)[1].

Отец К. К. Гедройца был врачом. Трудное материальное положение, в котором оказалась семья после смерти отца, вынудило отдать К. К. для обучения на казенный счет в Киевский кадетский корпус. Этому учебному заведению К. К., как он вспоминал позднее, был обязан развитием выдержки и самодисциплины и увлечением математикой. По окончании корпуса К. К. был переведен в Михайловское артиллерийское училище в Петербурге. Однако вскоре он был признан непригодным для несения военной службы из-за болезни сердца, явившейся следствием перенесенного в детстве брюшного тифа.

В 1894 г. К. К. поступил в Лесной институт. Это был период, когда под специальные лесоводственные науки начали подводить естественноисторическую основу и среди профессоров Института появился ряд крупных ученых. Такими были ботаник И. П. Бородин и зоолог Н. А. Холодковский; химию читал проф. М. Г. Кучеров, а практические занятия по химии вел П. А. Кашинский — впоследствии выдающийся специалист по гидрохимии. Именно под его руководством К. К. овладел аналитической химией и сделался первокласным аналитиком, впоследствии выполнявшим лично все без исключения химические исследования для своих работ. Кафедру почвоведения возглавлял профессор П. С. Коссович. Он организовал учебную лабораторию по почвоведению и одним из первых, допущенных к занятиям в ней, был К. К. Гедройц.

Вскоре по инициативе П. С. Коссовича при Лесном институте была учреждена Сельскохозяйственная химическая лаборатория Министерства земледелия. Для этой лаборатории в парке Лесного института был выстроен большой вегетационный павильон с необходимыми подсобными помещениями.

По окончании Лесного института К. К. обратился к П. С. Коссовичу с просьбой дать ему тему для научной работы. Незадолго до этого в США была опубликована работа Уитни и Минза (Whitney a. Means)

---

[1] Биографические данные о жизни К. К. Гедройца, приводимые в настоящем очерке, заимствованы преимущественно из биографии К. К. Гедройца, составленной Г. Н. Бочем и опубликованной в IX томе Трудов Почвенного института им. В. В. Докучаева, посвященном памяти К. К. Гедройца (Л., 1934).

[13] с описанием нового электрометрического метода определения влажности и температуры почвы и концентрации почвенного раствора. Прибор был выписан из США, и П. С. Коссович поручил К. К. проверку метода Уитни и Минза. Эта работа и явилась первым научным исследованием К. К. За ее выполнение он получил в 1899 г. звание ученого лесовода I разряда, а сама работа была напечатана в 1900 г. в первом томе «Журнала опытной агрономии» (1) [1], основанного П. С. Коссовичем в 1900 г.

За время своего пребывания студентом Лесного института К. К. получил основательную подготовку в области естественных наук. Однако она все же не удовлетворила К. К. полностью, и он поступил вольнослушателем Петербургского университета на физико-математический факультет. Окончил он этот факультет экстерном в 1903 г.

П. С. Коссович вскоре пригласил К. К. на должность младшего лаборанта в Сельскохозяйственную химическую лабораторию. В этом учреждении и протекла первая половина научной деятельности К. К. Гедройца, за время которой определились его научные интересы и основное направление его исследовательской деятельности.

В сельскохозяйственной лаборатории в это время разрабатывались два главных вопроса. Одним из них была критическая проверка и совершенствование методики анализа почв и разработка умения «читать» эти анализы, чему П. С. Коссович — вероятно, первый из русских почвоведов — придавал особенно большое значение. Это полностью отвечало тем традициям, которые начал насаждать в почвоведении В. В. Докучаев.

Второй вопрос заключался в разработке с помощью вегетационного метода различных вопросов питания растений и применения удобрений.

К. К. Гедройц принял участие в развитии обоих этих направлений. В области первого из них ближайшим результатом было составление и опубликование в 1909 г. статьи «Методы химического анализа почв, принятые в Сельскохозяйственной химической лаборатории» объемом в 53 страницы (35). Эта статья явилась первым вариантом капитального труда К. К. Гедройца «Химический анализ почв», вышедшего пятью изданиями (71, 95, 113, 128, 143). Объем последних двух изданий (уже посмертных) составил 40 авторских листов. Этот труд был переведен на украинский язык (96, 119) и на немецкий (89) и до сего времени является самым полным, самым распространенным руководством по химическому анализу почв. Участие во втором из указанных направлений работы Лаборатории вылилось в постановку К. К. Гедройцем обширной серии опытов и исследований по изучению плодородия почв и влияния на него различных удобрений.

Указанные оригинальные исследования агрохимического направления

---

[1] В дальнейшем ссылки на литературу в круглых скобках будут указывать номера работ К. К. Гедройца в библиографии его трудов, публикуемой в этом томе. Ссылки в квадратных скобках будут относиться к работам других ученых (см. список работ в конце комментариев, стр. 597).

касались по преимуществу вопросов питания растений азотом и фосфором, в меньшей мере — вопросов известкования. Восемь работ было посвящено методике вегетационных опытов.

В 1903 г. К. К. был зачислен на должность старшего специалиста по сельскому хозяйству Департамента земледелия и научным сотрудником Сельскохозяйственной лаборатории Министерства земледелия и государственных имуществ. В те же годы К. К. начал принимать большое участие в издании «Журнала опытной агрономии». В этом журнале К. К. опубликовал ряд своих оригинальных статей и свыше двух тысяч рефератов работ иностранных ученых. Этот журнал и, в частности, его реферативный отдел, оказал огромное содействие развитию сельскохозяйственной науки в России, так как зарубежная литература за пределами Петербурга и Москвы была малодоступна для лиц, работавших в области агрономических исследований. После кончины в 1915 г. П. С. Коссовича журнал взял в свои руки К. К. Гедройц и руководил им до 1924 г.— до конца существования журнала.

В 1912 г. К. К. получил приглашение заведовать агротехническим отделом вновь организованной Носовской сельскохозяйственной опытной станции (в б. Черниговской губернии). Настоящее развитие работ станции, директором которой был С. П. Кулжинский, началось лишь после Великой Октябрьской революции, и в этом развитии К. К. принял очень большое участие. Именно там он получил широкую возможность для разработки в полевых условиях вопросов генезиса солонцов и методов их мелиорации — одной из основных тем своего научного творчества. За период работы на Носовской станции К. К. опубликовал в ее трудах ряд весьма интересных и ценных теоретических и практических работ.

После кончины в 1915 г. П. С. Коссовича заведование кафедрой почвоведения в Лесном институте перешло к С. А. Захарову. В 1917 г. он переехал в Москву, и в 1918 г. заведующим кафедрой был избран К. К. Гедройц. Он возглавлял ее до 1930 г., передав затем И. В. Тюрину.

Кроме того, в 1921/22 учебном году К. К. читал курс почвоведения в Петроградском агрономическом институте. Последний в 1922 г. влился в объединенный Петроградский сельскохозяйственный институт, кафедру почвоведения в котором занял профессор К. Д. Глинка.

В 1918 г. К. К. был приглашен в качестве научного сотрудника в Почвенный отдел Комиссии по изучению производительных сил (КЕПС) Академии наук СССР. Этот отдел в 1927 г. был реорганизован в Почвенный институт им. В. В. Докучаева.

В 1927 г. К. К. Гедройцу была присуждена премия им. В. И. Ленина. В том же году он был избран членом-корреспондентом, а в январе 1929 г.— действительным членом Академии наук СССР. В 1929 г. он стал директором Почвенного института им. В. В. Докучаева и одновременно — Президентом Международной ассоциации почвоведов. В 1930 г. К. К. занимал пост Президента второго Международного конгресса почвоведов, проходившего в Ленинграде и Москве.

В это время у К. К. начала прогрессировать болезнь сердца, появи-

лись признаки быстро развивавшегося склероза аорты. Это вынудило К. К. просить освободить его от должности директора Почвенного института. В 1930 г. он переехал под Москву, на вновь организованное Долгопрудное опытное поле Научного института по удобрениям, куда его пригласили заведовать агрохимической лабораторией. К. К. надеялся, что спокойная жизнь на чистом воздухе, вне городских условий, улучшит его здоровье. Однако оно уже было сильно подорвано. К. К. Гедройц скончался от разрыва аорты 5 октября 1932 г. на Курском вокзале, перед отъездом в Сочи.

Творческая деятельность К. К. Гедройца отчетливо делится на два периода, из которых первый хронологически несколько переплетается со вторым.

Первый период, посвященный агрохимическим исследованиям, начался в 1903 г., после зачисления К. К. в штат Сельскохозяйственной химической лаборатории.

Начало второго периода, посвященного разработке учения о почвенных коллоидах, должно быть отнесено к 1912 г., когда К. К. опубликовал первую часть своего фундаментального труда «Коллоидальная химия в вопросах почвоведения» (см. стр. 50).

Включившись в 1903 г. в работу Сельскохозяйственной химической лаборатории, К. К. начал разрабатывать вопросы питания растений азотом и фосфором. Он ежегодно проводил серии опытов в вегетационном домике, а затем обрабатывал в лаборатории полученные материалы, анализируя почвы, удобрения и растения. Результаты своих исследований он публиковал в Трудах лаборатории и в «Журнале опытной агрономии». Всего с 1901 по 1917 г. им было опубликовано 34 оригинальных работы по вопросам питания растений, применения удобрений и методики вегетационных опытов. В это же время К. К. написал серию статей для Энциклопедии сельского хозяйства и опубликовал несколько переводов иностранных работ. Эти исследования представляли большую научную ценность, но касались сравнительно узких вопросов. Между тем мысль К. К. искала путей для более глубокой и широкой разработки вопросов почвоведения, связанных с проблемами питания растений.

В этот период в науке широко распространился взгляд, согласно которому питание растений обеспечивается преимущественно или даже исключительно воднорастворимыми формами питательных веществ, т. е. теми их соединениями, которые находятся в почвенном растворе. Отсюда возникла разработка ряда методов отделения почвенного раствора от твердой части почвы и его исследования. Эти попытки привлекли к себе пристальное внимание К. К., который обстоятельно проанализировал все эти работы и поставил некоторые собственные опыты. В результате этих исследований в 1906 г. появилась весьма содержательная статья К. К. «К вопросу об изменяемости концентрации почвенного раствора и содержания в почве легко растворимых соединений в зависимости от внешних условий» (20, см. стр. 5).

Насколько большое значение придавалось почвенному раствору, видно

из начала этой статьи, где К. К. пишет: «Для того чтобы продвинуться в разрешении многих как теоретических, так и чисто практических вопросов агрономии в самом широком смысле этого слова, необходимо так или иначе подойти к разрешению вопроса о почвенном растворе, необходимо изучить состав раствора и изменяемость его во времени, в зависимости от внешних условий; без всякого преувеличения можно сказать, что от степени разрешения этого вопроса зависят дальнейшие успехи агрономии» (стр. 5) [1]. Рассмотрев некоторые, в общем немногочисленные литературные данные о составе почвенных растворов, К. К. Гейдройц пришел к очень важному выводу о том, что состав почвенного раствора «...*должен постоянно изменяться в зависимости от беспрерывного изменения факторов, влияющих на растворимость почвенных соединений*...» и — это особенно важно,— что «...*обычное состояние почвенной системы не есть состояние равновесия*...» (стр. 14,— курсив К. К.).

Далее К. К. указывает на то, что изучение почвенной системы должно заключаться «...во-первых, в изучении ее *статики*...», а, во-вторых, «...необходимо изучить *кинетику* (курсив К. К.) почвенной системы» (стр. 16—17).

Таким образом, уже в самом начале своей научной деятельности К. К. отчетливо представлял себе необходимость изучения не только сравнительно инертной твердой части почвы, но и того, что можно назвать «современной жизнью почвы».

В конце статьи он пишет, что для того «...*чтобы содержание водно-растворимых соединений почвы действительно характеризовало бы почву, необходим анализ не одного образца этой почвы, а целого ряда их, взятых в различное время* (стр. 36,— курсив К. К.). Так начинает развиваться идея о необходимости того, что мы называем теперь стационарным изучением современных почвенных процессов.

Далее К. К. указывает на явление *адсорбции*, которое очень усложняет изучение почвенного раствора. Это замечание и рассмотрение ряда опубликованных работ (в особенности работ ван Беммелена, ссылки на стр. 19) свидетельствуют о том, что вопросы о коллоидальных свойствах почв и коллоидальных явлениях уже начали занимать свое место в творческой мысли К. К.

И действительно, два года спустя, в 1908 г., в «Журнале опытной агрономии» появляется статья К. К., которая так и называется: «Коллоидальная химия и почвоведение» (23). В первой части этой статьи автор в очень краткой форме излагает основные представления и законы коллоидной химии на уровне того времени, т. е. когда эта наука находилась еще в стадии становления. Вторая глава посвящена вопросу о том, какие коллоиды могут входить в состав почвы и как можно объяснить с точки зрения коллоидной химии некоторые почвенные процессы.

Эта статья явилась поворотным пунктом в развитии научного творчества К. К. Гедройца. Не прекращая еще полностью своих агрохими-

---

[1] Страницы указаны по наст. изданию.

ческих опытов в вегетационном домике, он, начиная со следующего — 1909 г., приступает к постановке глубоких экспериментальных исследований, которые и легли в основу созданного им учения о почвенных коллоидах.

Материал для разработки этого учения он находит прежде всего в своих вегетационных опытах. В 1911 г. он публикует две небольшие статьи: «На каких почвах действует фосфорит. Почвы насыщенные и ненасыщенные основаниями» (37) и «Еще о почвах, на которых действует фосфорит» (38). Эти статьи представляют собой особый интерес в том отношении, что в них впервые, хотя еще и не совсем ясно, высказывается мысль о природе почвенной кислотности и ее формах. Отчетливо характеризуются по меньшей мере две формы кислотности: одна, обусловленная наличием в почве водорастворимых кислот, и вторая,— не создающая кислой реакции в водной вытяжке, но вызывающая покраснение лакмусовой бумаги при соприкосновении ее непосредственно с влажной почвой и появление свободной минеральной кислоты при взаимодействии с раствором нейтральной соли. Отметив, что появившееся в то время в литературе представление о почвах «абсорбтивно-ненасыщенных» не отличается ясностью, К. К. формулирует свою собственную точку зрения: «*...основным признаком ненасыщенности почв надо считать способность таких почв освобождать из нейтральных растворов солей кислоту...*» (стр. 40,— курсив К. К.).

Далее К. К. устанавливает, что носителями ненасыщенности могут быть не только гумусовые вещества, но и минеральные. Оговорившись, что «...для определения ненасыщенности нужно еще выработать подходящий метод...», К. К. приводит результаты опытов по определению количества свободной кислоты, появившейся в вытяжке раствором хлористого натрия из трех почв. Опыт показал, что в то время как вытяжки из двух почв оказались нейтральными, в вытяжке из третьей почвы появилась кислота, количество которой и было определено путем титрования вытяжки щелочью. Так возникает прообраз будущего метода определения обменной кислотности почв.

В следующем, 1912 г. К. К. выпускает в свет первую часть своей основополагающей работы «Коллоидальная химия в вопросах почвоведения» (39), а в 1914 г.— вторую ее часть (41). В этих работах К. К. опубликовал результаты начатых в 1909 г. обширных экспериментальных исследований по изучению коллоидных свойств почв, которые он счел необходимым «...начать с самых элементарных вопросов». Такая изначальная постановка исследований обусловливалась тем, что сама коллоидальная химия в то время находилась, как писал К. К., «...еще в состоянии строительства, в периоде накопления фактов; те общие положения и теории, которые уже существуют в этой науке... слишком общие, чтобы ими можно было с уверенностью пользоваться в отдельных конкретных случаях» (стр. 50).

Впоследствии эти слова К. К. получили полное подтверждение в том, что почвенные коллоиды, в частности минеральные, т. е. глинистые

минералы, оказались во многих отношениях образованиями sui generis, весьма далекими по своей природе и свойствам от таких «классических» коллоидных тел, как желатина, белки или тем более — золи золота или серебра, на изучении которых преимущественно и зиждилась в то время коллоидная химия. Поэтому К. К. и начал свои исследования с вопроса о том, «...в каких количествах почвенные растворы различных типов почв могут содержать коллоидальные вещества».

Проделав серию весьма длительных и трудоемких экспериментов по отделению с помощью диализа водорастворимых коллоидальных веществ от всей массы растворимых веществ, переходящих в водную вытяжку, К. К. пришел к выводу, что в почвах всех типов «...за исключением щелочных солонцов, абсолютное содержание коллоидальных веществ, вместе органических и минеральных, в почвенном растворе на 100 *г* почвы колеблется между 0,0200 и 0,0018, а в культурных наших почвах (черноземы, лесные суглинки и подзолы) — между 0,0147 и 0,0058 *г*, при сухом остатке водной вытяжки 0,0591—0,0385 *г*». Иными словами, содержание золеобразных веществ в почвенных растворах оказалось совершенно ничтожным. И только «...в почвенных растворах почв, содержащих соду...», в столбчатых горизонтах солонцов, общее содержание органических и минеральных коллоидов оказалось значительно более высоким — до 0,4494 *г* на 100 *г* почвы.

Естественно поэтому, что почвы, содержащие соду и значительное (сравнительно) количество водорастворимых коллоидов в почвенных равновесных растворах, привлекли особенно большое внимание исследователя. Прежде всего он остановился на вопросе о происхождении самой соды. Указав, что существуют три точки зрения на происхождение соды: 1) Гильгарда (обменная реакция между солями натрия и карбонатом кальция), 2) образование соды в результате выветривания содержащих натрий силикатов и 3) образование соды при действии CO_2 и $CaCO_3$ на сульфид натрия, возникающий при микробиологическом восстановлении сульфата натрия, К. К. поставил ряд экспериментов. Эти эксперименты показали, что в результате взаимного обмена между карбонатом кальция и хлористым натрием соды вообще не получается, а в случае сульфата натрия она образуется лишь в ничтожных количествах. В то же время одна только обработка почвы солями натрия дает «...продукт, уже сам по себе дающий в водных вытяжках слабощелочную реакцию с образованием соды, а в присутствии углекислого кальция могущий при достаточном числе обработок почвы натриевыми солями давать значительные количества соды...» (стр. 73). Иными словами, в результате воздействия натриевых солей получается почва, обогащенная «...натронными силикатами и гуматами, которые уже и являются непосредственным источником соды». В присутствии $CaCO_3$ «...количество образующейся соды, как продукта взаимного обмена основаниями между $CaCO_3$ и натронными силикатами и гуматами, достигает значительных количеств даже в присутствии лишь ничтожных количеств углекислоты, при избытке же последней получающиеся количества соды — громадны» (стр. 74).

Особыми опытами К. К. показал, что в описанных реакциях принимают участие действительно и гуматы, и силикаты. При этом он пояснял, что в этих реакциях «...*первенствующая роль принадлежит той части этих силикатов, которая обладает резко выраженной поглотительной способностью, а именно цеолитной части почвы* (силикату А по терминологии van Bemmelen)» (стр. 75,— курсив К. К.).

Опытом с почвами, имеющими высокое валовое содержание натрия (до 4,8% Na_2O), К. К. показал, что «...богатые натрием безводные силикаты в этих почвах не обменивают свой натрий на кальций $CaCO_3$» (стр. 76—77).

Последний вопрос, на котором останавливается К. К. Гедройц в рассматриваемой работе,— это роль хлорида и сульфата натрия в образовании соды. К. К. показал, что присутствие этих солей подавляет образование соды и объяснил это тем, что «...*в почве, насыщенной натрием, связь части натрия-иона с поглощающими его гуматами и цеолитообразными соединениями очень слаба; натрий обладает в этом случае, так сказать, большой упругостью растворения* (курсив К. К.); небольшие количества его освобождаются и дают в водной вытяжке соответствующее количество гидроксильного иона, обусловливающего щелочность водной вытяжки из почвы, насыщенной натрием, и вызывающего переход части минеральных и органических гелей в золь. Прибавляя же к водной вытяжке хлористого натрия или сернокислого натрия довольно высокой концентрации, мы сами вводим в раствор натрий-ион, т. е. создаем условия, противодействующие упругости растворения натрия из абсорбционных соединений его в почве; натрий этих соединений вследствие этого не переходит в раствор, не создает щелочной реакции и не дает нужного количества гидроксильного иона для заметного перехода гелей в золи» (стр. 82).

Из этой цитаты мы видим, что современное представление о существовании части обменных катионов в отдиссоциированном от коллоидных частиц состоянии как раз и вытекает из представления К. К. о том, что обменный натрий «...обладает... большой упругостью растворения». Не подтвердился в дальнейшем только взгляд К. К. на то, что переход почвенных коллоидов в золеобразное состояние обязан стабилизирующему действию гидроксильного иона.

Используя результаты модельных экспериментов, К. К. формулирует и свой взгляд на происхождение солонцов. Он говорит, что «...*солонцы* (или, вернее сказать, те их слои, которые обнаруживают щелочную реакцию) *представляют собою почвы, цеолитная и органическая часть которых в большей или меньшей степени обогащена натрием* по сравнению с почвами не щелочного характера; источником этого натрия были почвенные растворы, богатые натронными солями... поэтому щелочные солонцы по своему происхождению тесно связаны с солончаками: *солонец возникает из солончака*» (стр. 85,— курсив К. К.).

Первая часть работы К. К. «Коллоидальная химия в вопросах почвоведения» заканчивается чисто практической рекомендацией о методе

мелиорации солонцов — с помощью гипса и орошения. Гипс вытесняет «цеолитный и органический натрий», а орошение способствует удалению образовавшихся при этом обмене солей. Таким образом старый, эмпирически найденный способ мелиорации солонцов путем гипсования в выводах К. К. получил не только теоретическое обоснование, но и новый способ расчета необходимого количества гипса. Последнее должно быть эквивалентно общему количеству обменного натрия, а отнюдь не тому только очень небольшому количеству соды, которое переходит в водную вытяжку и по которому необходимое количество гипса предлагал рассчитывать Гильгард.

Вторая часть той же работы (41), появившаяся в 1914 г., касается прежде всего вопроса о скорости обменных реакций в почвах. Выполненные К. К. эксперименты показали, что *«...реакция вытеснения извести из почвы натрием хлористого натрия протекает моментально...», а «...аммонием хлористого аммония...хотя и не моментально, но во всяком случае чрезвычайно быстро»* (стр. 92, 93,— курсив К. К.).

Все изложенные выше выводы и некоторые дополнительные факты позволили К. К. задаться вопросом о том, что же представляют собой соединения, обусловливающие явления поглощения. Отвергая высказывавшееся некоторыми исследователями мнение, что эти соединения являются смесью гелей гидроокисей железа и алюминия, К. К. признавал вместе с тем, что о природе этих соединений «...уже совершенно ничего нам не известно...Ввиду такого положения вопроса о характере поглощающих веществ почвы рациональная номенклатура их в настоящее время еще невозможна» (стр. 99). Поэтому К. К. предлагает минеральные соединения, обладающие резко выраженной поглотительной способностью, называть «...цеолитоподобными соединениями или просто почвенными цеолитами (конечно, не в смысле минералогическом)». Для совокупности цеолитоподобных соединений с поглощенными ими основаниями наиболее подходящим, по мнению К. К., будет термин, предложенный проф. В. А. Куриловым,— «продукты присоединения». Для органических же соединений К. К. предлагает сохранить обозначение «гуматы».

В этой же работе он указывает на то, что насыщение почвенных цеолитоподобных веществ и гуматов натрием (а отчасти калием и аммонием) сообщает им характер гелей гидрофильных коллоидов.

Для выяснения вопроса о влиянии на коллоидальные свойства почв ненасыщенности ее основаниями К. К. поставил еще один опыт. Последний заключался в длительной обработке чернозема водой, насыщенной углекислотой, с периодическим удалением отработанных порций воды и заменой их новыми. Этот опыт позволил К. К. придти к выводу о том, что *«...почвенные цеолитоподобные и гуминовые вещества в состоянии, ненасыщенном основаниями, представляют гели гидрофильных коллоидов...»* (стр. 102,— курсив К. К.).

В то же время в состоянии насыщенности трехвалентными катионами (Fe^{3+} и Al^{3+}) почвенные коллоиды приобретают характер гидрофобных гелей. Щелочноземельные катионы по своему влиянию на почвенные кол-

лоиды занимают промежуточное положение. Из всего этого следует вывод о том, что «...степень коллоидальности почвенных продуктов присоединения, а следовательно и самих почв, находится в тесной зависимости от того, насыщены ли эти продукты присоединения основаниями или не насыщены, а если насыщены, то какими именно основаниями» (стр. 104).

В 1916 г. К. К. опубликовал новое исследование (59), посвященное поглотительной способности почв. В этой работе он устанавливает эквивалентность обмена между почвенными цеолитными основаниями и катионами внешнего солевого раствора, причем в качестве последних он исследовал такие катионы, как NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Al^{3+}. В итоге этих опытов он пишет, что «*...цеолитные основания могут быть вытеснены из почвы любым катионом...*», причем «*...вытесняющая способность у различных катионов в отношении общего количества вытесняемого ими из почвы кальция одинакова, но быстрота, с которой удается вытеснить одинаковые количества кальция, у однозначных катионов ниже, чем у дву- и трехзначных*» (курсив К. К.).

Одновременно он устанавливает, что 10%-ная солянокислая вытяжка, применяемая для изучения «цеолитной части почвы», дает совершенно превратное представление о содержании в почве цеолитных оснований (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+), что в обычных почвах содержание цеолитных K^+ и Na^+ ничтожно, а алюминия и железа в почвах в качестве цеолитных оснований нет вообще.

В результате другой серии опытов для всех почв (исключая почвы, ненасыщенные основаниями), устанавливается эквивалентность обмена и возможность насытить почву любым основанием, причем его количество (в эквивалентном выражении) не зависит от его природы. В последнем выводе уже намечается представление о емкости обмена как постоянной для данной почвы величине.

В той же статье впервые появляется выражение «кислотпый комплекс цеолитоподобных веществ», из которого в дальнейшем вырастет представление о «почвенном поглощающем комплексе».

В заключительной главе этой работы К. К. приводит данные о составе цеолитных оснований в различных почвах. Особенно заслуживает упоминания факт установления К. К. наличия «цеолитного натрия» в уплотненных горизонтах донских черноземов, т. е., иными словами, солонцеватости этих горизонтов. Еще больший интерес представляет постановка вопроса о том, усиливается ли процесс засоления и осолонцевания донских почв или нет.

В заключение статьи К. К. подчеркивает, что «...с составом цеолитных оснований мало считались не только в учении о почве, но и в учении об удобрении и мелиорации почв...» и что многие отделы в этом учении должны быть пересмотрены с учетом влияния на свойства почв цеолитных оснований.

Такова первая заявка на выяснение той огромной роли, которую почвенные коллоиды и обменные основания играют в почвообразовании и в

свойствах почв, а следовательно, в их плодородии и в сельскохозяйственном использовании.

В последующие годы К. К. публикует еще ряд статей, посвященных поглотительной способности почв и методам ее изучения (66, 67, 68, 77, 79). Среди них особый интерес представляют работы, посвященные обменной кислотности почв — ее природе и методам определения (68 и 77). В этих работах устанавливается однозначность поведения водорода и металлических катионов в отношении их способности переходить в обменное состояние и замещать друг друга.

Кроме работ о почвенной кислотности в этот период заслуживает быть отмеченным еще одно исследование — «Ультрамеханический состав почв и зависимость его от рода катиона, находящегося в поглощенном состоянии. Известкование как мера улучшения ультрамеханического состава почвы» (78) (см. стр. 108). К. К. устанавливает, что различные одно-, дву- и трехзначные катионы, находясь в обменном или поглощенном состоянии, неодинаково влияют на степень пептизации почвенной массы.

При этом оказалось, что однозначные металлические катионы оказывают особенно заметное пептизирующее действие на почвенные коллоиды, и тем более сильное, чем меньше атомный вес катиона. Пептизирующее действие двузначных катионов оказалось совершенно ничтожным по сравнению с действием однозначных. Иными словами, при насыщении двузначными катионами почва почти полностью переходит в агрегатное состояние.

Сильное пептизирующее действие иона натрия К. К. объяснял следующим образом. Некоторая доля обменного натрий-иона переходит в раствор, окружающий коллоидную частицу, а другая доля замещается водородным ионом воды. В результате этой последней реакции в растворе появляется свободный ион гидроксила, который обладает по отношению к почвенным коллодам стабилизирующим действием благодаря присущему ему отрицательному заряду, т. е. заряду того же знака, что свойствен обычно частицам почвенных коллоидов. При этом стабилизирующее действие гидроксильного иона превышает коагулирующее действие иона натрия.

Этим превосходством стабилизирующего действия гидроксильного иона над коагулирующим действием натрий-иона К. К. и объясняет высокую пептизированность почвенной массы в случае насыщенности ее ионом натрия. Если же она насыщена ионом, например, кальция или какого-либо другого двузначного катиона, то и в этом случае происходит некоторое замещение обменного кальция ионом водорода и появление в растворе эквивалентного количества гидроксильного иона. Но благодаря тому, что кальций является двузначным катионом, его коагулирующее влияние на почвенные коллоиды значительно превышает стабилизирующее действие гидроксильного иона и почвенная масса остается в коагулированном состоянии.

Установление К. К. сильного пептизирующего действия на почву обменного иона натрия сыграло огромную роль в разработке методов гра-

нулометрического (механического) анализа почв. Подавляющая часть методов подготовки почвы к гранулометрическому анализу включает в себя ее насыщение ионом натрия с помощью тех или иных приемов.

В заключительной части этой работы К. К. оценивает влияние известкования почв как мероприятия, направленного не только на борьбу с кислотностью, но и на улучшение их физического состояния.

В связи с этим К. К. заинтересовался проблемой структуры почв и опубликовал на эту тему две статьи (88, 121), из которых вторая вышла в свет уже после его кончины. Он не производил экспериментальных исследований по этому вопросу, но в суждениях использовал свои представления о свойствах почвенных коллоидов.

Следует отметить то большое значение, которое К. К. придавал почвенной структуре. Он писал: «Если смотреть на почву, как на культурную среду для растений, то приходится признать, что структурность почвы является одним из самых важных моментов, определяющих величину создаваемой почвой растительной массы» (стр. 181,— разрядка наша, *А. Р.*). Это положение вытекает из того, что К. К. считал структурность почвы «...естественным регулятором противоречий между водным и воздушным режимом почвы».

Рассмотрев ряд положений о влиянии на структуру почв содержащихся в них коллоидов и состава обменных катионов, К. К. отмечает, что в целом вопрос о структурности почв исследован очень мало. Он пишет, что «...удовлетворительное решение этой проблемы... требует глубокого научного изучения» (стр. 564,— разрядка К. К.).

В начале 20-х годов, в то время, когда экспериментальные исследования находились еще в самом разгаре, К. К. приступил уже к постепенному обобщению своих работ.

В 1922 г. вышло в свет первое издание книги «Учение о поглотительной способности почв» (70) — основной обобщающей работы К. К.— сначала в виде небольшой книжечки объемом 55 страниц. Второе, значительно расширенное издание (97) появилось в 1929 г., третье (114) — еще более расширенное — в 1932 г., в год смерти автора. В 1933 г. вышло четвертое посмертное издание (118), идентичное с третьим, а в 1955 — пятое (143).

Этот фундаментальный труд представляет собой по существу основы коллоидной химии почв — нового раздела почвоведения, созданного всецело трудами К. К. Гедройца. Конечно, он не был пионером в этой области. Ряд работ по поглотительной способности почв (Уэя, ван Беммелена и других авторов) появился и раньше. Но К. К. Гедройцу принадлежит честь создания целостной, многосторонней, строго обоснованной экспериментальными данными концепции о почвенном коллоидном комплексе, его составе, свойствах, влиянии на свойства почвы в целом и о той роли, которую играет этот комплекс в генезисе, жизни и плодородии почв и в их использовании в различных отраслях народного хозяйства, прежде всего в сельском хозяйстве.

Мы не будем излагать содержание этого труда, поскольку он публикуется в настоящем томе. Задача нашей статьи — показать ход научной мысли и экспериментальной работы К. К. Гедройца, приведший его к созданию названной концепции. Отметим лишь некоторые, самые важные, результаты этого труда.

Он дал возможность почвоведам по-новому взглянуть на почву как на природное тело, в котором непрерывно совершается ряд сложных процессов, о характере которых до того времени в лучшем случае существовали лишь какие-то смутные догадки.

Исследования К. К. Гедройца, обобщенные в этом труде, взломали, если можно так выразиться, двери, ведущие в тайны почвообразования, и вооружили почвоведов новыми взглядами на природу почв и почвенных процессов и новыми методами для дальнейшего проникновения в эти тайны. Вот почему бесконечно прав был Б. Б. Полынов [5], который охарактеризовал работы К. К. Гедройца как начало новой эпохи в развитии докучаевского почвоведения. После работ К. К. почва перестала быть телом, обладающим лишь совокупностью морфологических свойств, дополненных некоторыми данными о химическом составе, и изображаемым цветным пятном на почвенной карте. Почва приобрела облик живущего своей особой жизнью, изменяющегося и эволюционирующего во времени природного тела, для познания которого оказалось необходимым глубоко проникнуть в сущность происходящих в нем процессов.

Конечно, самому К. К. далеко не удалось охватить все разнообразие явлений и процессов, совершающихся в почвах разных типов и даже в различных составных частях одной и той же почвы. Но важно то, что он указал пути для изучения многих важнейших групп этих процессов и разработал необходимые для этого новые методы. В этом и заключается основная ценность его труда.

Кроме «Учения о поглотительной способности почв» другим, меньшим по объему, но не менее важным научным обобщением является работа К. К. «Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации», вышедшая двумя изданиями в 1925 и 1927 гг. (80 и 90). Огромная научная ценность этой работы заключается в том, что в ней впервые сделана попытка создать классификацию почв, целиком основанную на их внутренних свойствах, т. е. целиком отвечающую тем принципам классификации, которые были завещаны нам В. В. Докучаевым.

Несомненно, что дать на указанной основе подробную классификацию почв К. К. не мог. Во-первых, для этого в его распоряжении было еще слишком мало фактического материала. Во-вторых, потому, что одних использованных К. К. признаков, сколь ни были они новы и объективны, конечно, недостаточно для построения исчерпывающей классификации почв. Но важно то, что упомянутая работа К. К. дала новые основы классификации почв, гораздо более правильные, чем те, на которых строились до того времени многие классификации, опиравшиеся не на внутренние свойства почв, а на внешние условия почвообразования.

Как мы видели, научная деятельность К. К. началась в 1900 г. с разработки различных агрохимических вопросов, преимущественно методом вегетационных опытов. С 1909 г. он начал переключаться на проблемы почвоведения, на изучение коллоидных свойств почв и особенно их поглотительной способности, которая являлась наиболее ярким и наиболее легко доступным для изучения внешним проявлением коллоидных свойств почвы, многосторонне их отражавшим. В самом начале этого нового этапа своей творческой деятельности К. К. уделял много внимания солонцам — их свойствам, происхождению и мелиорации. И именно эти вопросы, относившиеся к солонцам, послужили тем мостиком, с помощью которого К. К. в более позднее время снова начал возвращаться к вопросам агрохимии.

Эту возможность он получил, приняв приглашение занять пост заведующего агрохимическим отделом Носовской сельскохозяйственной опытной станции. В «Трудах» названной станции К. К. с 1922 г. начал публиковать результаты своих исследований. В число этих работ вошли и весьма немногочисленные исследования К. К. географо-генетического характера (74, 75, 76, 84). В них К. К. обсуждает вопросы происхождения почв «Днепровской низины», на территории которой и расположена Носовская станция. К. К. пришел к выводу, что в истории развития этих почв большую роль играла смена процессов засоления, рассоления, осолонцевания и осолодения. Он пишет: «*...нынешние несолонцеватые почвы днепровского ледникового языка следует рассматривать как рассолонцевавшиеся... карбонатные солонцеватые почвы...*» (стр. 160,— курсив К. К.).

Результаты изучения солонцов и солодей были обобщены К. К. в двух монографических работах: «Осолодение почв» (87) и «Солонцы...» (92). В этих работах получила окончательное оформление концепция К. К., согласно которой засоление, рассоление, осолонцевание и осолодение почв являются стадиями одного и того же эволюционного процесса. Эта концепция была основана как на наблюдениях в природе, так и особенно на лабораторных модельных опытах. Одновременно слово «солодь» — народного происхождения — окончательно получило значение научного термина.

В то же время именно в процессах осолонцевания и последующего осолодения К. К. обнаружил главную причину малого содержания гумуса в почвах Носовской станции и плохой их оструктуренности, с чем он связывал и низкую производительность и плохую отзывчивость на удобрения.

И в дальнейшем, при решении различных агрохимических вопросов, вытекающих из полевых и вегетационных опытов, К. К. исходил из своих представлений о сущности процессов осолонцевания и осолодения. В этом отношении наиболее интересной из числа выполненных на Носовской станции является работа «Почва как культурная среда для сельскохозяйственных растений» (85, стр. 184), в которой мы находим образцовое применение теоретической разработки вопросов почвоведения к решению агрономических задач.

Однако в общем в этот период (двадцатые годы текущего века) основное внимание К. К. было по-прежнему обращено на изучение поглотительной способности почв и других связанных с ней вопросов коллоидной химии почв. Как раз в это время он опубликовал упомянутые выше крупные обобщающие труды.

Из экспериментальных работ этого периода следует отметить исследование о действии на почву перекиси водорода, результаты которого были опубликованы в двух статьях (109, 137). Самым интересным выводом из этого исследования явилось то, что обработка почвы перекисью водорода значительно увеличивает степень пептизации по сравнению даже с полным насыщением ее ионом натрия. При этом суспензия почвы, многократно обработанной 30%-ной перекисью водорода, образовала студенистый гель.

В 1930 г., приступив к работе на Долгопрудном опытном поле, К. К. вновь обратился к вопросам агрохимии. Но теперь он возвратился к ним, будучи вооруженным новыми взглядами на почву, которые вытекали из созданного им представления о ней как о системе, содержащей коллоидный («поглощающий») комплекс.

Совершенно естественно, что основное внимание на этом третьем этапе своей исследовательской деятельности, которому не суждено было быть длительным, К. К. обратил на действие на растения различных обменных катионов; влияние их на почву ему в это время было уже известно. Он организовал большую серию вегетационных опытов по выращиванию растений на различных почвах, полностью или частично насыщенных различными катионами. В качестве последних К. К. исследовал, помимо встречающихся в обычных естественных почвах Ca^{2+}, Mg^{2+}, H^{+}, NH_4^{+}, еще и такие искусственно введенные в почву катионы, как Ba^{2+}, Sr^{2+}, Cu^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Cd^{2+}, Mn^{2+}, Na^{+} и K^{+}.

Основной вывод из этих опытов (далеко, впрочем, не исчерпывающий всех их результатов) был сформулирован К. К. следующим образом: *«Из всех исследованных металлических обменных катионов почвы только кальций (по-видимому, в той же мере и стронций) создают в почве, при полном насыщении ее емкости обмена, наиболее благоприятные условия для жизни растения»* (131,— курсив К. К.).

Особое внимание К. К. привлек вопрос о влиянии на растение соотношения между обменными Ca^{2+} и Mg^{2+}. Этому вопросу он посвятил ряд опытов, главный вывод из которых гласит, что «*причиной вредного действия избыточных доз углекислого кальция на кислых почвах является недостаточное содержание в этих почвах обменного магния...*» (130, курсив К. К.). В дальнейшем этот очень важный вывод был подтвержден многими исследователями.

К большому сожалению, третий период научной деятельности К. К. длился лишь немногим более двух лет (с весны 1930 г. до осени 1932 г.) и был прерван его внезапной кончиной. Задуманный им широкий план изучения влияния обменных катионов на жизнь растений остался невыполненным. И можно только удивляться тому, что за столь короткий

срок, на новом месте работы, К. К. все же успел создать большое количество работ. Они были собраны и опубликованы в 1935 г. сотрудниками Долгопрудного опытного поля в особом сборнике «Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение» (129—140).

Наше знакомство с результатами научно-исследовательской деятельности К. К. Гедройца было бы неполным, если бы мы не попытались выявить его общую научную концепцию. Сделать это не так легко, ибо К. К. не оставил ни одной работы, в которой такая концепция была бы изложена. Но в его работах, начиная с самых ранних, разбросано много идей и высказываний, которые мы и постараемся обобщить.

Во «Введении» к своей монографии «Учение о поглотительной способности почв», характеризуя сложность почвы как природного тела, К. К. пишет: «Присутствие в почве колоссальных иногда количеств живых организмов, ведущих здесь свою разрушительную и созидательную работу, присутствие здесь минеральных и мертвых органических веществ в мелкораздробленном состоянии и потому обладающих особенно резко выраженной способностью к химическим реакциям, присутствие веществ, легко окисляющихся и восстанавливающихся, присутствие веществ как минеральных, так и органических, очень сложных по своему химическому составу и потому мало устойчивых, легко изменяющихся и упрощающихся,— все это вместе делает почву вместилищем самых разнообразных химических и физико-химических процессов. Положение значительно усложняется еще тем, что почва представляет собою пористое тело, пронизанное сложной сетью капиллярных и некапиллярных ходов;... жизнь почвы, почвенная динамика, представляет явление чрезвычайной сложности, и потому вполне понятно, что наши знания в этой области, несмотря на массу затраченного уже труда для изучения ее, весьма скудны...» (стр. 399).

В одной из самых первых своих статей, посвященных почвенному раствору, К. К. определяет почву как чрезвычайно сложную неоднородную с и с т е м у, которая состоит «...из большого числа физически обособленных комплексов или так называемых фаз, а именно: из твердых фаз, число которых, а в большинстве случаев и состав, неизвестны, из газообразной фазы (почвенной атмосферы), состав которой если не в качественном, то в количественном отношении тоже неизвестен, и наконец, из жидкой фазы...» (стр. 11).

Из этой цитаты видно, что К. К. имел представление о почве, вполне соответствующее современному, согласно которому такие природные образования, как почва, океан, озера и т. д., являются именно системами, по большей части открытыми.

Следует подчеркнуть также применение К. К. термина «фаза» в ее строгом физико-химическом смысле. К. К. говорит о м н о г и х твердых фазах, что вполне соответствует действительности, если принять во внимание, что любая фаза должна быть химически однородна, а твердая часть почвы состоит из частиц многих веществ различного состава. В почвоведении же принято представление о единой твердой фазе почвы, что

с физико-химической точки зрения является ошибкой. В этом случае под фазой понимается, по сути дела, составная часть почвы. Впрочем, позднее и сам К. К. отошел от указанного точного смысла термина «фаза» и начал говорить просто о твердой фазе почвы.

В 1926 г. в статье о «Почвенной структуре и сельскохозяйственном ее значении» (38) К. К. пишет: «Почва представляет собой трехфазную систему, состоящую из твердой, жидкой и газообразной фаз. Познать почву означает познать эти фазы в отдельности и в их совокупном взаимоотношении, изучить статику и динамику этой системы» (стр. 172). В этом высказывании мы находим сжатую, но очень полную формулировку задач почвоведения, как науки о сложном многофазном теле, в котором непрерывно совершаются различные изменения, причем последние также должны быть охвачены исследованиями.

Очень важным является указание К. К. на то, что «...*динамика плодородия почвы должна находиться в зависимости от характера структурности почвы*, так как она, несомненно, тесно связана с динамикой тех почвенных процессов (воздушный, водный и *микробиологический* режим почвы), направление которых в той или иной степени регулирует физическое состояние почвы» (стр. 559,— курсив К. К.) (121).

Отчетливое представление о постоянной изменчивости почв К. К. высказал в уже упомянутой статье о почвенных растворах (20). Он пишет, что «...*обычное состояние почвенной системы не есть состояние равновесия*...» (стр. 14,— курсив К. К.) и в качестве причин, постоянно нарушающих это равновесие, он называет взаимную смену восходящего и нисходящего передвижения влаги в почве, изменяющееся во времени всасывающее действие корней, их дыхание, которое влияет на изменение парциального давления углекислоты в почвенном воздухе, и т. д. Отсюда вытекает цитированный уже выше вывод о необходимости для познания закономерностей, управляющих состоянием почвенного раствора, определять это состояние не однократно, а периодически, т. е. изучать динамику, течение почвенных процессов.

Позднее (59), обсуждая вопрос о направлении эволюции солонцеватых донских черноземов, К. К. прямо пишет «...нам представляется чрезвычайно важным организация длительного изучения жизни почвы (непременно стационарное) и метеорологических условий направления этого процесса...». Таким образом, у К. К. было совершенно отчетливое представление о современной «жизни» почвы и необходимости ее изучения с применением стационарных методов.

В число явлений, составляющих эту «жизнь», К. К. включает и реакции между почвенным раствором и почвенными коллоидами. Он пишет: «...примерно с 0,00025 *мм*...начинается область частиц коллоидальных размеров; в сущности именно в этой области сосредоточено то, что может быть названо жизнью почвы; в этой части почвы...поверхностная энергия достигает таких величин, что становится возможным проявление реакционной способности между твердой и жидкой фазами почвы, а также и между твердыми фазами почвы в такой степени, что эта реакционная

способность может влиять на повседневную жизнь почвы и растения и становится уловимой нашими методами исследований и притом за те периоды времени, в течение которых производились и производятся опыты и наблюдения...» (стр. 108) (78).

Теперь мы можем подвести окончательный итог рассмотрению научного наследства, оставленного нам К. К. Гедройцем. Основной, крупнейшей его научной заслугой явилось, как мы видели, создание основ коллоидной химии почв, что позволило проникнуть в природу почвенных процессов и познать существо многих явлений почвообразования, а равным образом и плодородия почв.

Все исследования в указанной области К. К. строил на основе точного количественного учета изучавшихся им явлений. Именно благодаря этому все его выводы, как частные, так и более общие, составившие в совокупности учение о почвенных коллоидах, отличаются безупречностью, бесспорностью и полной доказательностью. Этим самым К. К. положил начало приобщению почвоведения к точным естественным наукам, основывающим свои выводы на количественных данных. В этом заключается вторая огромнейшая заслуга К. К. в развитии почвоведения. Для того, чтобы ее по достоинству оценить, следует вспомнить, что почвоведение в ту эпоху, когда К. К. приступил к коллоидно-химическим исследованиям почв, представляло собой науку описательную, базировавшуюся в своих выводах преимущественно на морфологических наблюдениях, дополняемых некоторым аналитическим материалом, имевшим скорее иллюстративный характер. Кроме того, широко использовались различные географические сопоставления. К. К. сделал химический анализ почв, в самом широком смысле этого слова, главным точным орудием исследования почв, их свойств и состава и протекающих в них процессов.

В дальнейшем внедрение точного количественного метода в почвоведение протекало медленно — уж слишком сильны были противодействовавшие этому консервативные традиции «сравнительно-географического» метода. Последний был в это время если не единственным, то во всяком случае самым главным методом исследования почв. Несомненно, что он сыграл огромную роль в развитии почвоведения. С его помощью были выполнены многие замечательные по глубине анализа работы, образцом которых является, например, работа Т. И. Попова [6]. Но в то же время этот метод давал большой простор для умозрительных суждений и не способствовал точности научного исследования. Будучи по своей природе качественным и коррелятивным, сравнительно-географический метод не мог давать точных и однозначных ответов ни на вопросы теории почвообразования, ни на вопросы, возникавшие в процессе использования почвоведения в различных отраслях народного хозяйства, в первую очередь, конечно, сельского хозяйства.

Указанные консервативные традиции не изжиты полностью еще и сейчас, и их тормозящее влияние до сих пор чувствуется в разработке крупнейших проблем почвоведения — таких, например, как классификация и диагностика почв. Но все же в настоящее время точный количественный

метод все глубже и глубже проникает в почвоведение, и этот процесс необратим. При этом следует заметить, что если трудами К. К. Гедройца этот метод начал внедряться прежде всего в химию почв, то позднее, путем своего рода индукции, он нашел приложение в физике, в минералогии почв и в других разделах почвоведения. За самые последние годы в почвоведении начали применяться вероятностно-статистические методы, которые, несомненно, значительно повысят точность и обоснованность результатов почвенных исследований.

Развитие количественного метода в почвоведении не могло бы протекать успешно, если бы оно не было обеспечено соответствующим методическим руководством. Такое руководство и было создано К. К. Гедройцем под названием «Химический анализ почв». Мы уже отмечали в начале статьи, что методикой химического анализа почв К. К. начал заниматься в первые же годы своей работы в Сельскохозяйственной химической лаборатории, первым результатом чего было опубликование в 1909 г. небольшой статьи с описанием методов химического анализа почв, принятых в Лаборатории (35).

К. К. в течение всей жизни продолжал уделять внимание этим вопросам, публикуя время от времени небольшие заметки по химическому анализу почв (например, 43, 55, 58, 63, 65, 68, 69, 79) и постепенно накапливая материал для составления систематического руководства по методам этого анализа. В результате этой работы он и создал свой капитальный труд — «Химический анализ почв», выходивший пятью изданиями, начиная с 1922 по 1955 г. Подобного труда в мировой литературе не было, поэтому не удивительно, что он вскоре (в 1926 г.) был переведен на немецкий язык, издан в Германии и тем самым сделался доступным для всех зарубежных почвоведов.

За последние годы в СССР появился ряд новых руководств по химическому анализу почв, в которых описаны новые методы анализа, значительно ускоряющие работу. Но все же капитальный труд К. К. Гедройца сохранил свое значение и по сие время как руководство, в котором впервые методы анализа почв были изложены систематически и полно.

В работах К. К. имеется еще одна важная черта, заслуживающая быть особо отмеченной. Мы имеем в виду широкое применение К. К. метода моделирования. Важнейшие установленные им положения коллоидной химии почв покоятся не только на изучении природных почв, но и на сопоставлении их с различными искусственными моделями, созданными из почвенных образцов с помощью различных приемов. Именно методом моделирования К. К. решил вопросы о происхождении соды в почве, о влиянии состава обменных катионов на физическое состояние почвенной массы, о происхождении солонцов, о природе почвенной кислотности и ряд других. Без преувеличения можно сказать, что в разработке всех этих задач метод моделирования был ведущим.

Широкое внедрение метода моделирования в исследование почв и почвенных процессов тоже должно быть признано весьма крупной заслугой К. К. Почва, будучи биокосным телом, является весьма сложной систе-

мой, и без широкого применения моделирования, позволяющего расчленять сложные почвенные процессы на ряд более простых частных процессов и явлений и изучать их в контролируемых условиях, мы не можем познать сущность почвообразования. Однако при моделировании различных почвенных процессов мы не должны забывать о присутствии в почвах живой фазы, которая, как на это указывал В. И. Вернадский [2], может существенно влиять на физико-химические процессы, протекающие в почвах. Неизбежность участия микроорганизмов в создании поглотительной способности почв хорошо представлял себе и сам К. К. (114).

Публикация основных работ К. К. по коллоидной химии почв, как мы видели, началась еще перед Великой Октябрьской социалистической революцией. Однако его достижения были далеко не сразу оценены современниками, среди которых нашлись лица, скептически относящиеся к «порошковому почвоведению», как насмешливо называли исследования К. К. Гедройца некоторые почвоведы. И только после того, как в литературе начали появляться статьи некоторых зарубежных исследователей с выводами, близкими к результатам исследований К. К., последние получили должную оценку и полное признание. Ими широко увлеклись почвоведы и агрохимики, в результате чего возник быстро нараставший поток исследований, темой которых были природа коллоидных свойств почв и коллоидно-химическая характеристика различных типов почв. Вскоре учение К. К. получило широкое признание и за рубежом. В этом большую роль сыграли переводы ряда статей К. К., сделанные американским почвоведом С. Ваксманом и распространявшиеся в копиях среди других американских ученых, а также подробный реферативный доклад о работах К. К., сделанный в 1926 г. английским почвоведом Пэйджем на международной конференции в Гронингене (Голландия). Несколько позднее появились немецкие переводы основных монографий К. К. Гедройца (89, 103, 112).

С этого времени учение К. К. о почвенных коллоидах начало широко внедряться в почвоведение и агрохимию во всем мире, а затем нашло приложение и в сопредельных науках: геохимии, петрографии осадочных пород, геологии, минералогии глинных минералов и т. д. Это дало право К. К. Гедройцу в 1932 г., в одной из самых последних своих статей, написанных за несколько месяцев до кончины, с законной гордостью сказать: «основы моего учения о почвенном поглощающем комплексе как естественноисторическом явлении стало теперь центральным местом почвоведения» (116).

В этой же статье К. К. особенно отчетливо формулирует свой взгляд на соотношение теории и практики. Он пишет: «Думаю, что для всякого научного работника чрезвычайно важно сознание, что темы, над которыми он работает, которым он посвящает себя, могут быть использованы практикой, если не сейчас, то хотя бы в ближайшее время. Такое сознание является могучим стимулом для его работы» (116). Из этого высказывания мы видим, что К. К., глубоко разрабатывая чисто теоретические вопросы почвоведения, никогда не забывал о практических результатах

своих исследований. И далее в этой статье он излагает в сжатом виде те результаты своих работ, которые могут быть теперь же непосредственно использованы в целях улучшения условий питания и произрастания растений. Таковы вопросы известкования почв, регулирования соотношения между обменными Ca^{2+} и Mg^{2+}, приемы повышения мобильности питательных веществ, стимулирующего действия марганца, гипсования солонцов и многие другие.

Очень интересны мысли К. К. о соотношении между агрономией и почвоведением. Он пишет (116): «Между практикой сельского хозяйства и теорией в агрономии вообще и в частности в агрохимии (и агрофизике) наблюдается резко выраженный разрыв: теория чрезвычайно сильно отстает от запросов практики... Одной из существенных причин является чрезвычайная сложность самого предмета агрохимии. Эта наука, как я ее понимаю, прежде всего базируется на почвоведении и физиологии... я именно так понимаю предмет агрохимии: почвоведение — это одно, а агрохимия, имея своим основным базисом почвоведение и плюс физиологию,— нечто совершенно новое, чего ни в том, ни в другом нет — это другое».

Заканчивая очерк, мы должны еще охарактеризовать стиль научной работы К. К. Гедройца. Самой существенной чертой в этом отношении были всегда глубокая постановка и детальное предварительное продумывание научного эксперимента. Мышление К. К. отличалось огромной логической силой. Это позволяло ему, при небольшом сравнительно количестве фактического материала, извлекать из него много строго доказанных выводов. В своем научном мышлении К. К. широко пользовался дедуктивным методом, что и помогало ему очень точно планировать научный опыт и получать ожидаемый результат с минимальным объемом экспериментального материала. Понятно, что это значительно повышало требования к качеству материала, но зато К. К. мог в аналитической работе обходиться результатами личного труда. Все свои исследования, все необходимые анализы и опыты он выполнял сам, собственными руками и, будучи первоклассным аналитиком, всегда мог быть уверен в безупречном качестве данных, с которыми оперировал.

К чужой помощи в аналитической работе К. К. прибегал крайне редко, обычно лишь для производства каких-нибудь второстепенных простейших определений, но даже в этих случаях тщательно оговаривал в своей статье полученную помощь, как бы скромна она ни была.

В лаборатории его всегда можно было видеть либо за аналитическим лабораторным столом с полотенцем через плечо, либо за аналитическими весами, либо,— когда эксперимент был закончен,— за письменным столом, пишущим очередную статью или книгу. В лаборатории он бывал ежедневно и проводил в ней значительную часть дня, за исключением небольшого перерыва на обед.

Такая форма организации работы имела, конечно, свои преимущества, главным из которых была полная уверенность в высоком качестве фактического материала. Но эта форма имела и недостатки. Вероятно, именно поэтому К. К. не создал школы учеников. За все время работы в Лесном

институте в качестве заведующего кафедрой почвоведения у К. К. было всего три ученика, проработавших в его лаборатории и под его непосредственным руководством длительное время,— Е. Н. Иванова, Б. Д. Зайцев и автор настоящей статьи. При этом первые двое сотрудниками Лесного Института не были и работали в лаборатории К. К. в качестве добровольцев. И только после перехода К. К. на работу на Долгопрудное опытное поле вокруг него начала формироваться более или менее значительная группа сотрудников. Но последовавшая вскоре кончина помешала ему вырастить крупный научный коллектив и создать школу под своим непосредственным руководством. Такая школа создалась уже стихийно, из числа последователей К. К., работавших в разных учреждениях. Учение К. К. получило дальнейшее развитие в трудах таких ученых, как Е. Н. Иванова, А. Ф. Тюлин, И. В. Тюрин, И. Н. Антипов-Каратаев, С. С. Ярусов, В. А. Чернов, Н. П. Ремезов, Н. П. Карпинский и многие другие. К большому сожалению, приходится признать, что в настоящее время развитие учения К. К. о почвенных коллоидах в СССР осуществляется недостаточно.

Характерной чертой К. К. была его глубокая преданность науке, которой он и посвятил всю свою жизнь. Однако он не был сухим педантом. Он живо интересовался современной литературой и много читал, в последние годы отдавая предпочтение мемуарной литературе. Он очень интересовался также социалистическим строительством и развитием Советского государства и его хозяйства и незадолго до смерти подал заявление о приеме в члены Коммунистической партии.

Очень скромный в личной жизни, К. К. был глубоко гуманным, добрым и отзывчивым человеком, питавшим величайшее отвращение ко всякого рода интригам и дрязгам. Благодаря этому среди профессуры Лесного института его нравственный авторитет был чрезвычайно высок и к нему очень часто обращались товарищи по работе за помощью при разрешении различного рода служебных и житейских конфликтов.

Педагогической деятельностью К. К. занимался в течение 12 лет, заведуя кафедрой почвоведения в Лесном институте (преобразованном в 1927 г. в Ленинградскую лесотехническую академию им. С. М. Кирова) и один год читая почвоведение в Петроградском агрономическом институте. Педагогическая деятельность К. К. не увлекала, но это не помешало ему создать свой оригинальный метод преподавания. Этому способствовало, вероятно, то, что К. К. не прошел обычного иерархического пути к профессуре, начинающегося с должности преподавателя, затем ассистента, затем доцента, а сразу же был избран профессором — заведующим кафедрой.

Отличительной чертой его преподавания было то, что весь свой курс он строил целиком на рассмотрении большого фактического материала, излагавшегося в форме таблиц, графиков, схем и отчасти иллюстрировавшегося различными опытами. При чтении лекций К. К. подвергал анализу графический и цифровой материал и заставлял студентов вдумываться в этот материал, анализировать его и искать вытекающие из него

выводы. Благодаря этому лекции К. К. были трудными, но имели то неоспоримое преимущество, что раз усвоенный материал уже прочно укладывался в сознании слушателей. Одновременно с тем студенты овладевали методом чтения и интерпретации анализов, что, конечно, само по себе тоже имело огромное значение.

Лекции К. К. сопровождались большим объемом лабораторных практических занятий. К. К. сам их не вел, но очень часто посещал их и требовал от студентов объяснения сущности выполняемых ими заданий.

Говоря о педагогической деятельности К. К., нельзя не упомянуть о том большом труде, который он затратил для завершения и издания превосходного учебника почвоведения, написанного П. С. Коссовичем, которому смерть помешала закончить этот труд.

Тяжелая сердечная болезнь унесла К. К. Гедройца из жизни в таком возрасте, когда он мог бы еще много лет заниматься творческой работой. Но, оценивая сейчас, когда исполнилось 100 лет со дня рождения К. К. Гедройца и 40 лет со дня его кончины, то, что он успел сделать за 32 года научной деятельности, мы отчетливо видим, как огромен его вклад в почвоведение и какой коренной перелом в развитии этой науки вызвали его труды.

КОММЕНТАРИИ

1. О ТЕОРИИ ОБРАЗОВАНИЯ СОЛОНЦОВ К. К. ГЕДРОЙЦА

(стр. 154, 223 наст. тома)

Заключительная фраза из этой цитаты уже довольно давно сделалась предметом критики. Выводу К. К. о том, что «солонец образуется из солончака» К. Д. Глинка [3] противопоставил свой взгляд, согласно которому «...формирование солонцов требует двух фаз: поднятия натриевых солей к поверхности и насыщения таким образом гумуса почвы ионом натрия и последующее удаление с помощью промывания хлора и серной кислоты. Идущее веками чередование этих процессов приводит к образованию солонцов». Это противопоставление было использовано другими авторами, в результате чего появилось представление о существовании двух самостоятельных «теорий» происхождения солонцов: «теории Гедройца» и «теории Глинки».

На самом деле, однако, говорить о двух различных «теориях» нет оснований. Во-первых, обе они опираются на то положение, что образованию солонцов предшествует появление в почве растворимых солей натрия — хлоридов, сульфатов, реже карбонатов. Приоритет этого положения, бесспорно, принадлежит К. К. Гедройцу. Во-вторых, ему же принадлежит установление факта пептизирующего действия на почвенную массу обменного иона Na, которое представляет собой важнейшее явление в процессе осолонцевания почвы. В-третьих, о возможности осолонцевания почв за счет поступления натрия из грунтовых вод впервые еще в 1916 г. писал К. К. Гедройц (59), обсуждая вопрос о причинах возникновения солонцеватости донских черноземов (стр. 437).

В-четвертых, К. Д. Глинка признавал, что возможно получение солонца из солончака при условии понижения грунтовых вод. Но ведь именно этот случай и имеет широкое распространение на водоразделах и высоких террасах, когда уровень грунтовых вод понижается в результате понижения базиса эрозии и развития эрозионного ландшафта — о чем говорит и сам К. Д. Глинка в той же работе (стр. 52). В-пятых, термин «солончак» в то время, когда К. К. выступил с изложенной выше теорией происхождения солонцов, не имел того строгого значения, какое он имеет сейчас (почва, содержащая не менее 1% солей в верхнем горизонте). Солончаками называли тогда любую почву, содержащую легкорастворимые соли натрия, кальция или магния, т. е. то, что сейчас называется просто засоленой почвой.

В одной из своих работ К. К. так и пишет: «...под солончаком мы будем понимать почву, обогащенную легкорастворимыми солями...» (60).

Поэтому указанная выше точка зрения К. Д. Глинки относится лишь к солонцам с близкими грунтовыми водами, т. е. к луговым солонцам или прошедшим эту стадию, т. е. лишь к одному, хотя и довольно широко распространенному в природе случаю образования солонцов. Противопоставлять мнение К. Д. Глинки точке зрения К. К. Гедройца в качестве самостоятельной «теории» нет оснований.

2. О ПОЧВЕННЫХ ЦЕОЛИТАХ

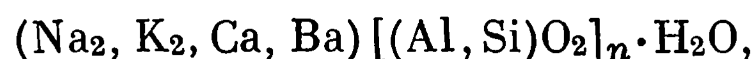
(стр. 323)

В первой же своей работе о почвенных коллоидах (39) К. К. установил, что поглотительной способностью обладают и минеральная, и органическая части почвы. Минеральную часть он вначале именует просто почвенными силикатами, а затем

уточняет (39): «...*в обмене натрия почвенных силикатов на кальций углекислого кальция первенствующая роль принадлежит той части этих силикатов, которая обладает резко выраженной поглотительной способностью,* а именно *цеолитной части почвы* (силикату А по терминологии van Bemmeien'a [1])» курсив К. К.).

В дальнейшем в работах К. К. широкое распространение получили термины «цеолитная часть почвы», «почвенные цеолитные основания» и т. д. Источником этих терминов явилось существовавшее с давних пор предположение, что в почвах имеются минералы цеолиты, обладающие поглотительной способностью.

Цеолитами в минералогии называются алюмосиликаты с общей формулой:



$$(Na_2, K_2, Ca, Ba)[(Al, Si)O_2]_n \cdot H_2O,$$

которые содержат воду, постепенно выделяющуюся при повышении температуры, и которые способны обменивать свои основания.

Впоследствии оказалось, однако, что представление о наличии в почвах цеолитов было ошибочным и что поглотительная способность присуща главным образом глинистым минералам. Поэтому К. К. в своей монографии (114) пишет: «Теперь мы с достоверностью знаем, что в почвах таких именно минералов, которые в минералогии носят название цеолитов, нет, но сохраняем прежнее историческое название, вкладывая в него иной смысл, а именно: *под цеолитной частью почвы понимаем тот сложный алюмосиликатный комплекс, который способен обменивать свои основания на основания солевых растворов*» (курсив К. К.).

Таким образом, выражения «цеолитная часть почвы», «почвенные цеолитные основания» и т. д. являются в работах К. К. чисто условными. Впрочем, следует отметить, что за последнее время Л. С. Травникова, Б. П. Градусов и Н. П. Чижикова [7] все же обнаружили в некоторых почвах присутствие настоящих цеолитов. Но содержание их невелико и встречаются они редко.

3. О ПЕПТИЗИРУЮЩЕМ ДЕЙСТВИИ НА ПОЧВУ ОБМЕННОГО ИОНА Na

(стр. 140, 174, 179, 303, 312, 426, 579)

Начиная с самой первой своей экспериментальной работы по вопросам поведения почвенных коллоидов (39), и во многих последующих трудах, вплоть до монографии «Учение о поглотительной способности почв» (114), К. К. указывает на установленное им экспериментально явление — пептизирующее действие на почвенную массу иона Na, находящегося в обменном состоянии, и — в противоположность ему — на коагулирующее действие иона Ca. В упомянутой монографии он так формулирует это явление: «Поглощающий комплекс почвы, насыщенной натрием, дает с водой как с дисперсионной средой высокодисперсную систему с частицами, распыленными до коллоидальных размеров, тогда как тот же комплекс с кальцием как поглощенным катионом дает с водой грубодисперсную систему с прочными агрегатами коллоидальных частиц».

Позднее (78) К. К. было установлено, что столь же сильное пептизирующее действие, как и натрий, оказывает на почву ион лития. В ряде трудов К. К. дает такое объяснение этому явлению. Часть обменного Na вступает во взаимодействие с водой. При этом некоторая доля водородного иона воды замещает собою эквивалентную долю Na^+, который переходит в окружающий почвенные частицы раствор. В последнем остается эквивалентное количество иона OH. А так как «...*стабилизирующее действие гидроксильного иона значительно выше осаждающего действия катиона натрия* (курсив К. К.)..., то в солонце гидроксильный анион ...лишает катион натрия возможности свертывать первичные коллоидальные частички во вторичные частички. Таким образом, в солонце, содержащем из поглощенных катионов только

---

[1] Поясним, что под «силикатом А» понимается та часть почвы, которая растворяется в горячей 10%-ной солянокислой вытяжке.

лишь натрий, ...при достаточном его увлажнении, весь поглощающий комплекс будет находиться не в свернутом состоянии, а в виде отдельных не связанных между собой коллоидальных частиц...» (114, стр. 510).

Таким образом, пептизирующее действие обменного Na^+ на почвенные коллоиды К. К. объясняет тем, что стабилизирующее действие на них иона ОН сильнее, чем коагулирующее действие иона Na.

Самый факт пептизирующего действия обменного Na^+ на любую почву был бесспорно доказан К. К. во многих экспериментах. Вместе с тем он установил, что присутствие в почвенном растворе солей, в том числе и натриевых, подавляет пептизирующее действие обменного Na^+. В почвах, насыщенных Ca^{2+}, в результате указанной выше реакции с водой тоже может появляться гидроксильный ион, но вследствие того, что стабилизирующее его действие слабее, чем коагулирующее действие Ca^{2+}, пептизации почвенной массы не происходит.

Представление о пептизирующем (стабилизирующем) действии гидроксильного иона возникло, во-первых, из работы Перрена [11], на которую К. К. ссылался в одной из своих статей (54). Во-вторых, в собственных опытах К. К. установил (54), что слабый раствор едкого натрия (слабее 0,005 н.) и углекислого натрия (слабее 0,0175 н.) в присутствии NaCl в концентрации 0,015 н. оказывает стабилизирующее действие на суспензию красной глины.

Однако последующие исследования других авторов, например, Р. Х. Айдиняна [1], показали, что и из почвы, насыщенной Ca^{2+}, тоже можно приготовить устойчивую суспензию путем длительного механического растирания с водой густой почвенной пасты. Следовательно, в этом случае сильное коагулирующее действие Ca^{2+} не вызывает коагуляции почвенных коллоидов.

Еще более убедительны и поучительны опыты, поставленные А. Н. Пури и Б. Рай [12], которые состояли в следующем. Почва была подвергнута электродиализу и полностью лишена обменных металлических катионов, после чего высушена. Навески такой почвы были суспендированы в воде и насыщены различными катионами путем внесения в суспензии эквивалентных емкости обмена количеств гидроокисей этих катионов. В полученных таким образом суспензиях после трехнедельного выстаивания было определено содержание частиц диаметром менее 2 *мкм*. В процентах от веса сухой почвы их содержание оказалось равным:

Насыщающий почву ион	Li^+	Na^+	K^+	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
	55,3	55,0	6,8	14,3	4,8	6,0

Таким образом, получилась обычная картина: степень пептизированности почвы, насыщенной Na^+ и Li^+, оказалась одинаковой и во много раз превосходящей степень пептизированности почвы, насыщенной Ca^{2+}.

С той же электродиализированной и высушенной почвой был поставлен второй эксперимент: навески почвы были насыщены полностью Li^+ для получения максимальной пептизированности. Затем они были обработаны 0,05 н. соляной кислотой и промыты ею до полного удаления обменного Li^+, а затем промыты водой — до полного удаления избытка свободной соляной кислоты. Затем, без предварительного высушивания, эти навески были суспендированы в воде и насыщены различными катионами путем прибавления к суспензиям гидроокисей этих катионов в количествах, эквивалентных емкости обмена. В полученных суспензиях было определено содержание фракции диаметром менее 2 *мкм* (в процентах от веса сухой почвы). Результат получился следующий:

Насыщающий почву ион	Ca^{2+}	Ba^{2+}	Sr^{2+}	Mg^{2+}	H^+	NH^+	Na^+	K^+	Li^+
	56,5	55,7	53,7	52,7	53,4	54,1	54,2	53,9	54,1

Таким образом, степень пептизированности почвы оказалась одинаковой, независимо от рода обменного катиона — при насыщении как одновалентными, так и двухвалентными катионами, и при этом во всех случаях максимальной.

Различие между двумя опытами заключалось лишь в наличии высушивания в первом из них и его отсутствии во втором, поэтому причину максимальной пепти-

зированности во всех вариантах второго опыта следует искать в сохранности водных оболочек вокруг почвенных частиц во втором опыте. В цитированных опытах Айдиняна эти водные оболочки создавались механически, путем растирания почвенной пасты.

Опыты Айдиняна и Пури и Рая позволяют предположить, что различия в пептизирующем влиянии Na^+, с одной стороны, и Ca^{2+}, с другой, следует искать в том, что двухвалентные ионы Ca своими двумя валентными связями как бы «сшивают» почвенные коллоидные частицы (ион Ca оказывается между двумя частицами, с каждой из которых он связан одной валентностью) и эта связь противостоит расклинивающему действию воды, которая притягивается поверхностями коллоидных частичек. Если же почва насыщена одновалентными ионами Na, то в силу их одновалентности такого сшивающего действия быть, очевидно, не может. Молекулы воды свободно притягиваются к поверхностям коллоидных частичек, разъединяют их и препятствуют обратному соединению, т. е. коагуляции.

4. ОБ ОСОЛОДЕНИИ
(стр. 146)

Осолодение почв, как показал К. К., является конечной стадией в эволюционном ряду: засоленная почва ⟶ солонец ⟶ солодь.

В работах К. К. солоди и процесс их образования впервые получили фундаментальную физико-химическую характеристику, в результате которой и выяснилась генетическая связь солодей с солонцами. Разъяснив происхождение солодей — совершенно отличное от происхождения морфологически сходных с ними подзолов, К. К. предложил «...дать деградированным солонцам особое название, например, ...одно из народных их названий — *«солоди»*, а сам процесс рассолонцевания солонцов называть *осолодением*» (стр. 146 — курсив К. К.).

Основным элементом осолодения, по мнению К. К., является разрушение водой минерального коллоидного комплекса, насыщенного Na и находящегося поэтому в пептизированном, а следовательно, легко доступном для воды состоянии. Органические же коллоиды («гуматы»), будучи растворимы, при насыщенности их Na^+ просто растворяются и вымываются. К. К. пишет по этому поводу: «*Поглощенный натрий способствует растворяющему и разрушающему действию воды на почвенный поглощающий комплекс*» (курсив К. К.). Это положение он доказал прямыми опытами с различными почвами (например, черноземами), в коллоидный комплекс которых искусственно вводился обменный Na^+. Водные вытяжки из таких почв содержали и кремнезем, и полуторные окислы, и гумус в заметных количествах.

По всей вероятности, эти соединения переходили в раствор в форме золей. В природе при иссушении почвы золь кремнезема необратимо теряет воду и выпадает в осадок. Поэтому, по мнению К. К., высокое содержание аморфной кремнекислоты в осолодевших солонцах и солодях является характерной чертой процесса осолодения. Это мнение оспаривалось некоторыми исследователями. Однако многочисленные анализы К. К. осолодевающих солонцов и солодей, согласно которым содержание аморфной кремнекислоты может достигать 12% от веса почвы, при ничтожном обычно ее содержании в почвах других типов, неопровержимы. Возможно, что осолодение не всегда должно сопровождаться заметным накоплением аморфной кремнекислоты. Это может происходить в тех случаях, когда значительного иссушения почвы не происходит, т. е. в условиях временного или постоянного избыточного увлажнения. В этом случае осолодение сопровождается иногда явлениями оглеения — по меньшей мере временного. На это указывает накопление в белесом осолоделом горизонте некоторых солодей в большом количестве шарообразных марганцево-железистых конкреций, похожих на картечь.

При наличии временного избыточного увлажнения в депрессиях, где образуется солодь, могут поселяться диатомовые водоросли, которые и используют для построения своих панцирей освобождающуюся при осолодении кремнекислоту, как это было описано И. В. Тюриным [8].

5. О ПОСТОЯНСТВЕ ЕМКОСТИ ОБМЕНА
(стр. 446)

Более поздние исследования ряда авторов показали, что на величину катионной емкости обмена оказывает влияние pH системы почва — раствор. С повышением pH емкость обмена почвы возрастает. Поэтому следует говорить о постоянстве емкости обмена лишь при определенной величине pH.

6. ОБ ОБМЕННЫХ КАТИОНАХ ВОДОРОДА И АЛЮМИНИЯ
(стр. 335)

К. К. Гедройц (105, 114, 136) держался того мнения, подкрепленного, как всегда, точными экспериментами, что источником обменной кислотности почв является обменный ион водорода. Появление в растворе ионов алюминия, при взаимодействии почвы, обладающей обменной кислотностью, с раствором нейтральной соли, он объяснял вторичной реакцией растворения освободившейся в результате обмена соляной кислотой каких-то соединений алюминия.

В дальнейшем многими исследователями (В. А. Чернов [9], Пирсон и Адамс [10]) было показано, что почва может содержать как обменные ионы водорода, так и обменные ионы алюминия. Первый из них чаще всего встречается в органогенных горизонтах (торфах, лесных подстилках). В минеральных же горизонтах обменная кислотность представлена обычно преимущественно обменным алюминием. При этом было показано, что при искусственном введении в почвы обменного H^+ путем промывания почвы кислотой или путем электродиализа обменный ион H может быть обнаружен немедленно. Но с течением времени его содержание делается все меньшим и меньшим и он в эквивалентных количествах замещается обменным Al^{3+} (при очень низких pH) или ионами основных солей алюминия (при более высоких pH). Однако первоисточником почвенной кислотности, в какой бы форме мы ее ни обнаруживали, всегда является ион водорода — преимущественно органических кислот, образующихся при разложении органических остатков.

7. О РАБОТАХ МАТТСОНА
(стр. 496)

Большая серия экспериментальных исследований Маттсона, печатавшихся в тридцатых годах текущего столетия в журнале «Soil Science» и опубликованная в СССР на русском языке в переводе Н. П. Ремезова [4], первоначально обещала вылиться в новую концепцию почвообразования и выветривания — «изоэлектрическое выветривание». Эти работы очень увлекли многих почвоведов за рубежом и в СССР. Однако работы Маттсона в конечном итоге дали значительно меньше, чем от них можно было ожидать. Причиной этого в значительной мере явилось широкое использование Маттсоном в качестве моделей пермутитов — синтезированных алюмокремневых гелей, свойства которых оказались сильно отличающимися от свойств коллоидов природных почв. Кроме того, Маттсон в своих опытах нередко использовал сильные минеральные кислоты и щелочи, не учитывая действие соответствующих анионов кислот и катионов щелочей, входивших в их состав.

8. О РАСПЫЛЕНИИ И РАЗРУШЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДЫ
(стр. 526)

К. К. Гедройц экспериментально установил, что введение в коллоидный (поглощающий) комплекс в качестве обменных катионов Na^+, H^+ и Ca^{2+} существенно меняет физическое состояние комплекса и содержащей его почвы. При этом обменный

Na^+ вызывает наибольшую пептизированность коллоидов и почв, а Ca^{2+} — наименьшую. Водородный ион занимает в этом отношении промежуточное положение. Вместе с тем К. К. экспериментально установил, что чем сильнее пептизирована почва, тем больше переходит в реагирующую с ней воду гумуса, кремнезема и полуторных окислов. При этом он показал, что если в отношении органических компонентов можно говорить о растворении, то для минеральных компонентов следует предположить распад, разрушение под влиянием воды, после чего в воду переходят продукты их распада.

Поэтому он во всех своих трудах настоятельно проводит мысль о разрушающем действии воды на минеральную часть коллоидного комплекса.

Учитывая полярность молекул воды и ее способность притягиваться почвенными частичками, а также диссоциировать на ионы H^+ и OH^-, нет оснований сомневаться в том, что вода сама по себе может оказывать то или иное разрушающее действие на эти частички. Однако в природе на них никогда не действует чистая вода. Почвенный раствор всегда содержит угольную кислоту, органические кислоты (нередко довольно сильные) или их соли. Кроме того, в почве всегда имеются живые организмы или их отдельные органы: корни высших растений, микроорганизмы, почвенные животные. Едва ли есть основания сомневаться в том, что указанные соединения и живые организмы принимают участие в разрушении минеральных частичек. И возможно, что их роль в этом значительно больше, чем роль самой воды. Но за последней всегда остается роль главного фактора передвижения веществ в почве.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Айдинян Р. Х.* Выделение почвенных коллоидов без химической обработки.— Колл. ж. т. IX, в. 1, 1947.
2. *Вернадский В. И.* Проблемы геохимии, вып. II. О коренном материально-энергетическом отличии живых и косных естественных тел биосферы. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1939.
3. *Глинка К. Д.* Солонцы и солончаки Азиатской части СССР. М., изд-во «Новая деревня», 1926.
4. *Маттсон С.* Почвенные коллоиды Пер. Н. П. Ремезова. М., 1938.
5. *Полынов Б. Б.* Новая эпоха в развитии учения о почве.— «Природа», № 1, 1933.
6. *Попов Т. И.* Происхождение и развитие осиновых кустов.— Труды Докучаевского почв. ком., в. 2. СПб., 1914..
7. *Травникова Л. С., Градусов Б. П., Чижикова Н. П.* Цеолиты в почвах.— Почвоведение, № 9, 1972.
8. *Тюрин И. В.* О биологическом накоплении кремнекислоты в почвах.— Пробл. сов. почвоведения, сб. 4. 1937.
9. *Чернов В. А.* О природе почвенной кислотности. М.— Л., Изд-во АН СССР 1947.
10. *Pearson R. W. and Adams F.* Soil acidity and liming.— «Agronomy», v. 12. Madison, USA, 1967.
11. *Perrin J.* Mecanisme de l'electrisation de contact et solutions colloidales.— J. de Ch. phys., v. VII, 1904, p. 601, et v. III, 1905, p. 50.
12. *Puri A. N. and Rai B.* Effect of pH value and the nature of exchangeable bases on dispersion of soil.—Ind. J. Agr. Sci., v. 14, 1944.
13. *Whitney M. and Means T. H.* An electrical method of determining the soluble salt content of soils.— Bull. N 18, Bur. of Soils, U. S. Dept. of Agric., 1897.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ АКАДЕМИКА К. К. ГЕДРОЙЦА

I. ОРИГИНАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

1900

1. Электрический метод Whitney'я и Means'a для определения солонцеватости почв.— Журн. оп. агр., 1900, т. 1, кн. 1, с. 21–50, рис. табл.

1901

2. Концентрированные удобрения.— Энц. с. х., т. 4, 1901 с. 480.
3. Кровь как удобрение.— Там же, с. 1035—1037.
4. Минеральные составные части почвы.— Энц. с. х., т. 5, 1901, с. 684—685.
5. Нитрификация (селитрообразование, селитряное брожение).— Там же, с. 1146—1152. Лит. 5 назв.
6. Химические методы определения плодородия почв по отношению к фосфорной кислоте. Статья 1.— Журн. оп. агр., 1901, т. 2, кн. 6, с. 745—769, табл.

1902

7. Поверхностное удобрение.— Энц., с. х., т. 7, 1902, с. 201. Лит. 3 назв.
8. Полное удобрение.— Там же, с. 551—552.
9. Птичий помет.— Там же, с. 1199—1200.
10. Пудреты.— Там же, с. 1211. Лит. 4 назв.

1903

11. Химические методы определения плодородия почв по отношению к фосфорной кислоте. Статья 2.— Журн. оп. агр., 1903, т. 4, кн. 4, с. 403—438.

1905

12. Потребность в удобрении русских почв из различных местностей по вегетационному методу. Труды с.-х. хим. лаб., 1905, в. 4, с. 1–64, 5 вкл. л., фото, табл.
13. Сравнительное действие азота костяной муки и азотнокислого аммония на подзолистой почве под ячменем.— Там же, с. 65—68, табл.
14. Сравнительная усвояемость фосфорной кислоты фосфорита, костяной муки и томас-шлака озимой рожью и озимой пшеницей.— Там же, с. 69—79, табл.
15. Максимальная производительность почв в сосудах.— Там же, с. 102—112, табл.
16. О сравнительной способности сельскохозяйственных растений пользоваться фосфорной кислотой фосфорита.— Там же, с. 162—189, 11 вкл. л., фото, табл. (Совместно с П. Коссовичем).
17. Влияние известкования на доступность растениям фосфорной кислоты почвы и фосфорнокислых удобрений.— Журн. оп. агр., 1905, т. 6, кн. 5, с. 686—704.
18. Действие на растения углекислых и двууглекислых щелочей.— Там же, с. 705—720, рис.

1906

19. Влияние объема почвы на потребность растений в питательных веществах.— Журн. оп. агр., 1906, т. 7, кн. 5, с. 10—32.
20. К вопросу об изменяемости концентрации почвенного раствора и содержания в почве легко раствори-

мых соединений в зависимости от внешних условий.— Журн. оп. агр., 1906, т. 7, кн. 5, с. 521—561.

1907

21. Потребность красного клевера в фосфорной кислоте в связи с ходом восприятия этого вещества и явлением клевероутомления почвы.— Журн. оп. агр., 1907, т. 8, кн. 1, с. 39—65, табл., граф., фото.
22. Действие известкового азота на овес в зависимости от времени и способа внесения его и от характера почвы.— Журн. оп. агр., 1907, т. 8, кн. 4, с. 383—397.

1908

23. Коллоидальная химия и почвоведение.— Журн. оп. агр., 1908, т. 9, кн. 2, с. 272—293.

1909

24. К вопросу об определении щелочности и кислотности почвы.— Журн. оп. агр., 1909, т. 10, кн. 6, с. 753—781.
25. О сравнительной способности сельскохозяйственных растений пользоваться фосфорной кислотой фосфорита.— Труды с.-х. хим. лаб., 1909, в. 6, с. 1—19, фото, табл.
26. Влияние объема почвы и густоты посевов на потребность растений в питательных веществах.— Там же, с. 20—54, табл.
27. Влияние различных условий увлажнения почвы на результаты вегетационного метода.— Там же, с. 55—79, фото, табл.
28. Потребность почв в удобрениях по вегетационному методу.— Там же, с. 80—146, фото, табл.
29. Опыты с известковым азотом.— Там же, с. 225—256, табл.
30. К методике вегетационного опыта.— Там же, с. 257—272, табл.
31. Опыт с действием небольших количеств хлористого марганца на одной почве под различными растениями.— Там же, с. 273—281, табл.
32. Сравнительное плодородие различных почвенных горизонтов.— Там же, с. 282—303, фото, табл.
33. Опыты по влиянию стерилизации почв на рост растений и на самую почву.— Там же, с. 304—342.
34. Доступность растениям фосфорной кислоты различных фосфорнокислых солей.— Там же, с. 343—405, фото, табл.
35. Методы химического анализа почв, принятые в сельскохозяйственной лаборатории.— Труды с.-х. хим. лаб., 1909, в. 7, с. 107—160.

1910

36. Материалы к вопросу о влиянии на растения кислот, щелочей и некоторых неорганических солей.— Журн. оп. агр., 1910, т. 11, кн. 4, с. 544—578, кн. 5, с. 641—678, рис., табл., черт.

1911

37. На каких почвах действует фосфорит. Почвы насыщенные и ненасыщенные основаниями.— Журн. оп. агр., 1911, т. 12, кн. 4, с. 529—546. Текст на русск. и нем. языках.
38. Еще о почвах, на которых действует фосфорит.— Журн. оп. агр., 1911, т. 12, кн. 6, с. 811—818, табл.

1912

39. Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. 1. Коллоидальные вещества в почвенном растворе. Образование соды в почве. Щелочные солонцы и солончаки. СПб., б. и., 1912, 58 с., рис., табл. (Из бюро по землед. и почвовед. Уч. ком. Гл. упр. землеустр. и землед. Сообщ. 8).
40. То же.— Журн. оп. агр., 1912, т. 13, кн. 3, с. 363—420, табл.

1914

41. Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. 2. Скорость обменных реакций в почве. Коллоидальность почв, насыщенных различными основаниями, и красочный метод определения количества коллоидов в почве. СПб., 1914, 36 с. (Из бюро по землед. и почвовед. Уч. ком. Гл. упр. землеустр. и землед. Сообщ. 15).
42. То же.— Журн. оп. агр., 1914, т. 15, кн. 3, с. 181—216. Текст. на русск. и нем. яз.

43. Заметки по агрономическому анализу. Пг., 1914, 16 с. (Из бюро по землед. и почвовед. Уч. ком. Гл. упр. землеустр. и землед. Сообщ. 21).
44. Потребность почв Петербургской губернии в удобрениях в условиях вегетационного опыта.— Труды с.-х. хим. лаб., 1914, в. 8, с. 1—86, 305—307.
45. Пальмерс-фосфат как источник фосфорной кислоты для сельскохозяйственных растений.— Там же, с. 87—109, табл.
46. Действие солей марганца и сернокислой закиси железа на различных почвах под льном и клевером.— Там же, с. 110—131, табл.
47. Сравнительные результаты одного вегетационного опыта, произведенного параллельно на вегетационной станции Сельскохозяйственной химической лаборатории в С.-Петербурге и на Сельскохозяйственной опытной станции Симбирского губернского земства (с. Анненково, Корсунского, уезда).— Там же, с. 132—143, фото, табл.
48. Изменяемость плодородия и производительности почвы под влиянием естественных условий и при хранении почв в воздушно-сухом состоянии.— Там же, с. 144—199, фото, табл.
49. Влияние углекислого кальция на усвояемость растениями и на растворимость водорастворимых фосфатов.— Там же, с. 200—243, фото, табл.
50. К вопросу о влиянии цинковых сосудов на результаты вегетационного опыта.— Там же, с. 244—264, фото, табл.
51. Влияние времени посева на урожай растений и использование ими питательных веществ почвы в вегетационных сосудах.— Там же, с. 265—281, фото, табл.
52. О растворяющей и осаждающей деятельности корней растений.— Там же, с. 282—303.
53. По поводу статьи Б. Аарнио «Определение кислотности почвенных растворов» — Почвоведение, 1914, № 4, с. 69—72.

1915

54. Действие электролитов на илистые суспензии. Пг., 1915, 70 с., фото, табл. (Из бюро по землед. и почвовед. Уч. ком. Гл. упр. землеустр. и землед. Сообщ. 24).
55. Заметки по агрономическому анализу.— Журн. оп. агр., 1915, т. 16, кн. 1, с. 83—94.
56. По поводу статьи И. Якушкина «Легко извлекаемый фосфор в растениях и обеспеченность фосфорнокислого питания».— Журн. оп. агр., 1915, т. 16, кн. 2, с. 166—167.
57. Материалы к биографии Петра Самсоновича Коссовича.— Русск. почвовед., 1915, № 11—12, с. 345—346.

1916

58. Определение цеолитной кремнекислоты в почвах.— Журн. оп. агр., 1916, т. 17, кн. 5, с. 400—407, табл.
59. Поглотительная способность почвы и почвенные цеолитные основания.— Журн. оп. агр., 1916, т. 17, кн. 6, с. 472—528, табл.

1917

60. Методы контроля удобрений. Применительно к закону 3 июля 1916 г. Пг., 1917, VII, 35 с.
61. Засоленные почвы и их улучшение.— Журн. оп. агр., 1917, т. 18, кн. 2—4, с. 122—140.
62. Действие извести на почву и растение. (Обзор иностранной литературы по сельскому хозяйству).— Сельск. хоз-во и лесоводство, 1917, т. 255, сент.-окт., с. 150—175.

1918

63. К методике определения цеолитных оснований в почве. Пг., тип. т-ва «Печатное слово», 1918, 23 с. (С.-х. уч. ком. хим. лаб. Лесн. отд. НКЗ. Сообщ. 1).
64. То же.— Журн. оп. агр., 1918, т. 19, кн. 5, с. 226—248.
65. О переводе кремнекислоты в нерастворимое состояние при почвенном анализе.— Журн. оп. агр., 1918, т. 19, кн. 4, с. 155—166.
66. Материалы к познанию поглотительной способности почв. 1. Скорость поглощения, емкость поглощения и энергия поглощения и вытеснения.— Журн. оп. агр., 1918, т. 19, кн. 6, с. 268—322, табл.

1919

67. Материалы к познанию поглотительной способности почв. Продолжение.— Журн. оп. агр., т. 20, 1919, с. 31—60.

1921

68. Определение ненасыщенности почвы основаниями. (Количество свободных алюмокремнекислот и гумусовых кислот).— Бюлл. III Всерос. съезда почвоведов в Москве. 1921. № 1—2, с. 11.
69. Солянокислый метод определения «цеолитных оснований» в почве.— Там же, с. 12.

1922

70. Учение о поглотительной способности почв. Пг., НКЗ, 1922, 55 с., табл.

1923

71. Химический анализ почв. Руководство по ведению лабораторных почвенных исследований. Пг., «Новая деревня», 1923, 260 с., рис. (Труды по лесному оп. делу, в. 63).
72. К вопросу о причинах лучшего использования растениями фосфорнокислых удобрений на полях Носовской опытной станции после культуры клевера. Киев, «Киев-печать», 1923, 7 с. (Носовск. с.-х. оп. ст., отд. агрохим., в. 29).
73. То же.— С.-х., оп. дело, 1923, № 2, с. 6—12.

1924

74. Почвенные районы Юго-Востока России. Ростов н/Д., 2 Гос. тип. Донполиграфбума, 1924, 7 с.
75. Общий обзор результатов работ Агрохимического отдела Носовской сельскохозяйственной опытной станции в связи с вопросом о генезисе и свойствах черноземов района станции.— В кн. «Отчет агрохимического отдела за 1922—1923 гг.». Под общ. ред. К. К. Гедройца, Киев, «Киев-печать», 1924, с. 8—28. (Носовск. с.-х. оп. ст., отд. агрохим., в. 36).
76. Аналитические материалы по почвам района Носовской сельскохозяйственной опытной станции.— Там же, с. 29—34, табл.
77. Почвы, ненасыщенные основаниями. Методика определения в почвах водородного иона, находящегося в поглощенном состоянии. Потребность почвы в извести, как нейтрализаторе ненасыщенности.— Журн. оп. агр., 1924, т. 22 (1921—1923), [№ 1—2], с. 3—28.
78. Ультрамеханический состав почвы и зависимость его от рода катиона, находящегося в почве в поглощенном состоянии. Известкование, как мера улучшения ультрамеханического состава почвы.— Там же, с. 29—51.
79. Солянокислый метод определения в почве катионов, находящихся в поглощенном состоянии.— Там же, с. 53—55.

1925

80. Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации. Л., Школа-тип. им. Алексеева, 1925, 30 с. (Носовск. с.-х. оп. ст., отд. агрохим., в. 38).
81. Краткий обзор общих результатов исследований кафедры почвоведения Ленинградского лесного института, как обоснование ведущихся сейчас и намечаемых опытов и исследований в учебно-опытных дачах института.— Изв. Лесн. ин-та, 1925, в. 32, с. 71—94.
82. Почвенные поглощенные катионы и физические свойства почвы.— Журн. прикл. хим., 1925, т. 2, в. 3—4, с. 180—182.
83. Подвижность азотистых соединений почвы и почвенные поглощенные катионы.— Там же, стр. 183—184.

1926

84. К вопросу об естественноисторическом районе Носовской сельскохозяйственной опытной станции. Киев, «Киев-печать», 1926, 13 с., 2 вкл. л. карт. (Носовск. с.-х. оп. ст., отд. агрохим., в. 40).
85. Почва как культурная среда для сельскохозяйственных растений. Почвенные коллоиды и солонцеватость почв. По данным Агрохимического отдела Носовской с.-х. опытной станции. Киев, «Киев-печать», 1926, 66 с. (Носовск. с.-х. оп. ст., отд. агрохим., в. 42).

86. Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция. Киев. «Киев-печать», 1926, 18 с. (Носовск. с.-х. оп. ст., отд. агрохим. в. 43).
87. Осолодение почв. Л., 1926, 50 с., карты, 2 вкл. л. карт. (Носовск. с.-х. оп. ст., отд. агрохим., в. 44).
88. К вопросу о почвенной структуре и сельскохозяйственном ее значении.— Изв. ГИОА, 1926, т. 4, № 3, с. 117—127.
89. Die chemische Bodenanalyse. Methoden und Anleitung zur Untersuchung von Böden im Laboratorium. (Химический анализ почв. Руководство по ведению лабораторных почвенных исследований). Berlin, Borntraeger, 1926, 247 S.

1927

90. Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации. Изд. 2, испр. и доп. Л., 1927, 111 с. (Носовск. с.-х. оп. ст., отд. агрохим., вып. 47).
91. Предисловие к статье Роде А. А. «Действие углекислого кальция на почву».— Изв. Лен. лесн. ин-та, 1927, в. 34, с. 119—121.

1928

92. Солонцы, их происхождение, свойства и мелиорация. Научно-популярный очерк. Л., 1928, 76 с. (Носовск. с.-х. оп. ст., отд. агрохим., в. 46).
93. Работы Вегетационной станции Отдела почвоведения ГИОА по Сев.-Зап. области.— Изв. ГИОА, 1928, т. 6, № 5—6, с. 154—157.
94. До питания гіпсування солончакових грунтів.— Вісн. с.-г. науки, 1928, т. 5, № 6, с. 106—113, знімки.

1929

95. Химический анализ почвы. Изд. 2, испр. и доп. М.— Л., «Новая деревня», 1929, 599 с., рис., табл.
96. То же на укр. яз. Харків — Київ, Держ. вид. Укр., 1929, 224 с.
97. Учение о поглотительной способности почв. Изд. 2., испр. и доп. М.— Л., «Новая деревня», 1929, 156 с., лит. 16 назв.
98. Программа курса почвоведения. Л., Лесн. ин-т, 1929, 10 с., лит. 12 назв.
99. До методики визначення поглиненого натрию в грунті.— Вісн. с.-г. науки, 1929, т. 6, № 9, с. 87—93.
100. Универсальный метод определения в почвах емкости обменной способности.— Изв. ГИОА, 1929, т. 7, № 5, с. 451—454.
101. Проблема почвы. Материалы по химизации народного хозяйства. т. IV, 1929.
102. К вопросу о поглощенном натрии в почвах.— Почвоведение, 1929, № 1—2, с. 5—21, табл.
103. Der adsorbierende Bodenkomplex und die adsorbierten Bodenkationen als Grundlage der genetischen Bodenklassifikation. (Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации).— Kolloidchem. Beih., 1929, Bd. 29 H. 5—12, S. 149—260. Tbl.

1930

104. Главнейшие особенности почвообразовательного процесса Днепровской низины.— В кн. «Боловахно, І. Грунти району Дніпровського льодовикового язика». Київ, 1930, с. 9—19. (Носівська с.-г. досл. ст., відділ агрохемії, в. 49).
105. К вопросу об обменном водороде и обменном алюминии в кислых почвах. Бюлл. почвоведа, 1930, № 1—4, с. 3—9, табл.
106. То же на англ. яз.— Почвоведение, 1930, № 5, с. 5—11, табл.
107. Почвенные обменные катионы и растение. 1. Доступность растению кальция, магния и калия, находящихся в почве в состоянии, к обмену не способном. Отношение растения к некоторым катионам, полностью насыщающим емкость обмена почвы.— Удобр. и урожай, № 6, с. 464—475, табл.
108. По поводу статьи Б. Серебрякова «Гидролитическая кислотность и известкование почвы».— Удобр. и урожай, 1930, № 9—10, с. 781—784.

1931

109. Действие перекиси водорода на почву. Статья 1—2.— Удобр. и урожай,

1931, № 9, с. 814—827, табл.; № 10, с. 910—922, табл.

110. Почвенные обменные катионы и растение. 2. Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и обменного магния в почве. (Предварит. сообщ.).— Удобр. и урожай, 1931, № 11—12, с. 1047—1058.

111. Заявление (о принятии в члены ВАРНИТСО).— ВАРНИТСО, 1931, № 3, с. 77—78.

112. Die Lehre vom Adsorptionsvermögen der Böden. (Учение о поглотительной способности почв). Dresden, Leipzig, Steinkopf, 1931, S. 315—448, Tbl. (Sonderausgabe aus den Kolloidchemischen Beiheften).

1932

113. Химический анализ почвы. Изд. 3. М.— Л., Сельхозгиз, 1932, 536 с., рис. табл.

114. Учение о поглотительной способности почв. Изд. 3, испр. и доп. М.— Л., Сельхозгиз, 1932, 203 с., лит. 21 назв.

115. Почвенные обменные катионы и растение. 3. Влияние на урожай марганца, алюминия и некоторых других металлов, введенных в почвенный поглощающий комплекс в различных количествах.— В кн. «Минеральные удобрения». Сб. 1. Л., Госхимтехиздат, 1932, с. 70—81, табл., рис. (Труды НИУ, в. 109).

116. Почвенный поглощающий комплекс, растение, удобрение и мелиорация.— Химиз. соц. земл., 1932, № 1, с. 40—49.

117. Почвенный поглощающий комплекс как коллоидальная часть почвы и его взаимоотношение с растениями.— Химиз. соц. земл., 1932, № 9—10, с. 15—18.

1933

118. Учение о поглотительной способности почв. Изд. 4, испр. и доп. М., Сельхозгиз, 1933, 207 с., лит. 21 назв.

119. Хемічна аналіза грунту. Переклад з російско. Харьків — Київ, Держсільгоспвидав, 1933, 299 с., рис. табл.

120. Почвенные обменные катионы и растения.— В кн. «Минеральные удобрения». Сб. 2. Л., Госхимтехиздат, 1933, с. 3—13, рис., табл. (Труды НИУ, в. 113).

121. Положение вопроса о структуре почвы.— М.— Л., Сельхозгиз, 1933, с. 94—102. (Труды Советской секции Международной ассоциации почвоведов, т. I. Комиссия первая. Физика почв, № 1).

122. О взаимоотношении между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением.— В кн. «Справочник по удобрениям». Научно-техническое пособие для работников туковой промышленности и сельского хозяйства. Под общ. ред. Э. В. Брицке и Л. Л. Балашова. Л., НИУ НКТП, 1933, с. 514—522, лит. 4 назв.

123. Wirkung des Wasserstoffsuperosyds auf den Boden. (Действие перекиси водорода на почву).— В кн. Тр. II Международного конгресса почвоведов. Ленинград — Москва, июнь 20—31, 1930. Комиссия вторая. Химия почв. Под ред. К. К. Гедройца и Д. Л. Аскинази. М., Сельхозгиз, 1933, с. 41—70, табл.

124. Austauschkationen des Bodens und die Pflanze. [Обменные катионы почвы и растение].— Там же, с. 71—83, табл.

125. Объяснительная записка к темам группы акад. К. К. Гедройца на 1933 г.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 74.

126. (Из заграничной переписки). Выдержки из писем Гедройца.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 73.

1934

127. Der adsorbierende Bodenkomplex als Kolloid-Teil des Bodens und sein Verhältnis zu Pflanzen. [Почвенный поглощающий комплекс как коллоидная часть почвы и его взаимоотношение с растениями]. Bodenchemie in der UdSSR. Moskau, Sowjet Sektion, 1934, S. 7—12. [Труды второй комиссии Международной ассоциации почвоведов. Т. А. 1].

1935

128. Химический анализ почвы. Изд. 4 (стереотипное). М.— Л., Гос. изд. колх. и совх. лит., 1935, 536 с., портр., рис., табл.

129. Доступность растению кальция, магния и калия, находящихся в почве в состоянии, к обмену неспособном. Отношение растения к некоторым катионам, полностью насыщающим емкость обмена почвы. Сб.: «Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение». Статьи и материалы по опытам на Долгопрудном опытном поле НИУ за 1930—1933 г. Под общ. ред. Ф. Н. Германова. С. 40—52. М.— Л., Сельхозгиз, 1935, 343 с., 1 вкл. л. портр.
130. Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и обменного магния в почве.— Там же, с. 52—63.
131. Влияние на урожай марганца, алюминия и некоторых других металлов, введенных в почвенный поглощающий комплекс в различных количествах.— Там же, с. 64—76.
132. Поглощенный аммоний как источник азота для растений и действие его на почву.— Там же, с. 76—87.
133. Действия на растения углесолей кальция и магния.— Там же, с. 87—97.
134. Работа Агрохимического отдела НИУ по взаимоотношению между почвенным поглощающим комплексом, растением и удобрением.— Там же, с. 97—110.
135. Почвенный поглощающий комплекс, растение, удобрение и мелиорация. Там же, с. 110—121.
136. К вопросу об обменном водороде и обменном алюминии в кислых почвах.— Там же, с. 121—126.
137. Действие перекиси водорода на почву.— Там же, с. 126—156.
138. Почвенный поглощающий комплекс как коллоидальная часть почвы и его взаимоотношение с растением.— Там же, с. 156—159.
139. Тематический план по группе акад. К. К. Гедройца на 1933 г.— Там же, с. 159—160.
140. Объяснительная записка к темам группы акад. К. К. Гедройца на 1933 г.— Там же, с. 160—161.

1938

141. Нитрификация.— С.-х. энц., т. 3, изд. 2, перераб., 1939, с. 245.
142. Поглотительная способность почвы.— С.-х. энц., т. 3, изд. 2, перераб., 1938, с. 415—417, лит., 5 назв.

1955

143. Избранные сочинения в трех томах, т. 1—3. М., Сельхозгиз, 1955, Т. 1. Почвенные коллоиды и поглотительная способность почв. 559 с., рис., портр., табл., 2 вкл. л. портр. и карт. Литература в конце статей, «Библиография трудов акад. К. К. Гедройца», с. 513—520, «Список работ о К. К. Гедройца», с. 520—522. Т. 2. Химический анализ почвы, 616 с., рис., табл. Т. 3. Применение удобрений, мелиорация почв и вегетационные опыты, 560 с., 1 вкл. л. портр., табл., рис. Литература: «Список работ академика К. К. Гедройца, помещенных в настоящем издании избранных его сочинений», с. 539—540.

II. ПЕРЕВОДЫ ИНОСТРАННЫХ РАБОТ

1905

1. Постановление Германского союза сельскохозяйственных станций относительно исследования и оценки удобрений, кормов и семян. СПб., 1905, 66 с.

1909

2. Постановление Германского союза сельскохозяйственных станций относительно исследований и оценки удобрений, кормов и семян. Изд. 2, испр. и доп. СПб., 1906, 76 с.

1912

3. Постановления Германского союза сельскохозяйственных станций относительно исследований и оценки удобре-

ний, кормов и семян. Изд. 3, испр. и доп. СПб., 1912, 134 с.

1913

4. Мерк Е. Испытание химических реактивов на чистоту. Перевод со 2-го нем. изд. СПб., Деп. земл., 1913, 272 с.

1919

5. Методы контроля инсектисидов и фунгисидов, принятые Association of official agricutural chemists. Соед. Штатов Сев. Америки. Пг., тип. т-ва, «Печатное слово», 1919, 18 с. Лит. 23 назв. (С.-х. уч. ком. отд. землед. и почвовед. НКЗ, Сообщ. 30).

РЕДАКТИРОВАНИЕ

1. Отчет Агрохимического отдела [Носовской с.-х. оп. станции] за 1922—1923 гг. Киев, «Киев-печать», 1924, 75 с. (Носовск. с.-х. оп. ст., отд. агр., в. 36).
2. Краткий отчет Агрохимического отдела [Носовской с.-х. оп. станции] за 1924 г. Сост. Ф. Н. Германов и В. Г. Тарановская. Киев, «Киев-печать», 1926, 49 с. (Носовская с.-х. оп. ст., отд. агрохим., вып. 41).
3. Труды II Международного Конгресса почвоведов. Ленинград — Москва, июнь 20—31, 1930 г. Вторая Комиссия. Химия почв. М., Сельхозгиз, 1933, 226 с. (Совместно с Д. Л. Аскинази).

ЛИТЕРАТУРА О К. К. ГЕДРОЙЦЕ

Академик К. К. Гедройц. (Биографическая справка).— Химиз. соц. земл., 1932, № 9—10, с. 14.

Аскинази Д. Л. Из личной переписки и воспоминаний о К. К. Гедройце.— Почвоведение, 1957, № 9, с. 6—7.

Боловахно И. И. О работах К. К. Гедройца на территории б. Прилукского и Нежинского округов Украины.— В кн. «Памяти акад. К. К. Гедройца». Л., Изд-во АН СССР, 1934, с. 77—83, фото (Труды Почв. ин-та, т. 9).

Боч Г. Н. Биография академика К. К. Гедройца.— В кн. «Памяти акад. К. К. Гедройца». Л., Изд-во АН СССР, 1934, с. 3—16, фото 1, 1 вкл. л. факс. (Труды Почв. ин-та, т. 9).

Брицке Э. В. К. К. Гедройц как научный работник.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 30—33, рис.

Вейсс Ф. Смерть великого ученого проф. К. К. Гедройца.— Почвоведение, 1933, № 6, с. 483—484.

Вольская А. Н. Результаты последействия в 1933 г. вегетационных опытов акад. К. К. Гедройца по теме «Почвенные обменные катионы и растение».— В кн.: *Гедройц К. К.* Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение». Статьи и материалы по опытам на Долгопрудном опытном поле НИУ за 1930—1933 гг. М.— Л., Сельхозгиз, 1935, с. 309—343, табл.

Вольская А. Н. и *Шедеров С. Г.* Почвенные обменные катионы и растение. (Материалы по вегетационным опытам акад. К. К. Гедройца за 1930—1932 гг.).— В кн.: *Гедройц К. К.* Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение.— Статьи и материалы по опытам на Долгопрудном опытном поле НИУ за 1930—1933 гг. М.— Л., Сельхозгиз, 1935, с. 164—308, табл.

Вольфкович С. И. Академик К. К. Гедройц [некролог].— За индустриализацию, 1932, 8 октября, № 233, портр.

Гантимуров И. И. К. К. Гедройц и наука о почве.— Почвоведение, 1947, № 4, с. 207—212.

К. К. Гедройц. Агрохимик и почвовед. [К 20-летию со дня смерти].— Почвоведение, 1952, № 10, с. 77—78.

Константин Каэтанович Гедройц (1872—1932). Вступит. статья *А. А. Роде.* Библиогр. сост. В. М. Распоповой и Н. В. Смирновой. М., Изд-во АН СССР, 1956, 59 с., 1 л. портр. (АН СССР. Мат. к биобиблиографии ученых СССР. Серия почвоведения, вып. 5).

Гедройц Константин Каэтанович. Библиография трудов академика К. К. Гедройца. В кн. Гедройц К. К. «Избранные сочинения» в 3 томах, т. I. М., Сельхозгиз, 1955, с. 511—523.

Гедройц К. К.— Советский почвовед-агрохимик. В кн.: «Библиогр. словарь деятелей естествознания и техники», т. I. М., 1958, с. 216—217.

Германов Ф. Н. Краткая биография акад. К. К. Гедройца.— В кн. Гедройц К. К. «Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение». Статьи и материалы по опытам на Долгопрудном опытном поле НИУ за 1930—1933 гг. М.— Л., Сельхозгиз, 1935, с. 5—7.

Германов Ф. Н. Работы акад. К. К. Гедройца и их значение в почвоведении и практике социалистического земледелия.— В кн. «Почвенный поглощающий комплекс и вопросы земледелия». М., ВАСХНИЛ, 1937, с. 9—34; Литература: «Список научных трудов акад. К. К. Гедройца», 104 назв.

Германов Ф. Н. Работы ак. К. К. Гедройца на Долгопрудном опытном поле Научного института по удобрениям НКТП (НИУ).— В кн. Гедройц. «Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение». Статьи и материалы по опытам на Долгопрудном опытном поле НИУ за 1930—1933 гг. М., Сельхозгиз, 1935, с. 8—39.

Германов Ф. Н. Теория солонцов и осолоделых почв в учении К. К. Гедройца.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 49—54, фото.

Горбунов Н. И. Учение К. К. Гедройца и задачи коллоидной химии и минералогии почв (к столетию со дня рождения К. К. Гедройца).— Почвоведение, 1972, № 3.

Зайцев Б. Д. Мои воспоминания о Константине Каэтановиче Гедройце.— Почвоведение, 1957, № 9, с. 8—9.

Зеленко В. А. Памяти акад. Константина Каэтановича Гедройца.— В кн. «Памяти акад. К. К. Гедройца».– Л., Изд-во АН СССР, 1934, с. 71—73. (Труды Почв. ин-та, т. 9).

Иностранные ученые о К. К. Гедройце.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 877—878.

Казин К. П. Опыт массового определения поглощенного натрия углекислым методом академика К. К. Гедройца.— Соц. зерн. хоз-во, 1939, № 4, с. 124—126, лит. 3 назв.

Кедров-Зихман О. К. Проблемы известкования в учении К. К. Гедройца.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 41—48.

Кедров-Зихман О. К. Учение академика К. К. Гедройца о почвенном поглощающем комплексе и известковании почвы.— Почвоведение, 1952, № 10, с. 879—889, лит. 14 назв.

Кедрау-Зіхман А. К. Вучэнне К. К. Гедройца аб глебавым паглынаючым комплексе і проблеме хімізацыи соцыялистычнага земляробства. Минск. Выд-ва Бел. АН, 1934, 25 с.

Кулжинский С. П. К. К. Гедройц и опытное дело.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 61—66, фото.

Левинсон-Лессинг Ф. Ю. и *Вернадский В. И.* Записка об ученых трудах проф. К. К. Гедройца.— В кн. «Записки об ученых трудах действительных членов Академии наук СССР по Отделению физико-математических наук, избранных 12 января 1929 г.». Л., Изд-во АН СССР, 1930, с. 44—49, лит. «Список ученых трудов проф. К. К. Гедройца» 67 назв.

Левинсон-Лессинг Ф. Ю., Костычев С. П. и *Вернадский В. И.* Записка об ученых трудах проф. К. К. Гедройца.— Изв. АН СССР, 1927, т. 21, № 18, с. 1470—1476, лит. «Список ученых трудов К. К. Гедройца» 65 назв.

Магарам Э. Е. К. К. Гедройц как советский ученый и учитель.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 55—60, 1 вкл. л. факс.

Остроумов Б. В. Поташный метод К. К. Гедройца как массовый метод определения емкости поглощения в карбонатных почвах.— Химиз. соц. земл., 1935, № 6, с. 61—71, рис. лит. 39 назв.

Памяти акад. К. К. Гедройца. Л., Изд-во АН СССР, 1934, 256 с., рис. табл., вкл. л. портр., 1 вкл. л. схем. почв. карт. (Труды Почв. ин-та, т. 9).

Памяти академика К. К. Гедройца.— Вестн. АН СССР, 1933, № 5, с. 51—52.

Памяти К. К. Гедройца.— Успехи химии, 1932, т. 1, в. 6, с. 665–668.

Памяти Константина Каэтановича Гедройца.— Фронт науки и техн., 1932, № 10, с. 86—88.

Писцов П. Умер академик Гедройц.— Техн. соц. земл., 1932, № 10, с. 44.

Петербургский А. В. К. К. Гедройц о доступности растениям калия почвы и дальнейшее развитие этого вопроса.— Почвоведение 1957, № 11, с. 88—97.

Петербургский А. В. Работы К. К. Гедройца по изучению поглотительной способности почвы и их значение в земледелии.— Земледелие, 1958, № 1, с. 88—92.

Полынов Б. Б. Новая эпоха в истории развития учения о почве. (Роль К. К. Гедройца в развитии почвоведения).— Природа, 1933, № 1, с. 59—62, портр.

Прасолов Л. И. Значение К. К. Гедройца в почвоведении.— В кн. «Памяти акад. К. К. Гедройца». Л., Изд-во АН СССР, 1934, с. 19—31. Лит.: «Список трудов К. К. Гедройца». 108 назв. (Труды Почв. ин-та, т. 9).

Прасолов Л. И. Памяти Константина Каэтановича Гедройца (1872—1932).— Вестн. АН СССР, 1932, № 11, с. 47—54.

Прянишников Д. Н. К. К. Гедройц как агрохимик.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 12—20, фото. (В кн. Прянишников Д. Н. «Избранные сочинения», т. 4. М., 298—305).

Ремезов Н. П. Вклад К. К. Гедройца в развитие докучаевского почвоведения. (К 75-летию со дня рождения).— Почвоведение, 1947, № 4, с. 201—206.

Ремезов Н. П. Влияние работ акад. К. К. Гедройца и его школы на развитие генетического почвоведения.— В кн. «Научная конференция [МГУ]. Роль русской науки в развитии мировой науки и культуры». М., 5—12 июня 1944 г. Программы и тезисы докладов., Изд-во МГУ, 1944, с. 65—66.

Ремезов Н. П. Влияние работ акад. К. К. Гедройца и его школы на развитие генетического почвоведения.—

Уч. зап. МГУ, 1946, в 104. (Роль русской науки в развитии мировой науки и культуры), т. 2, кн. 2, с. 60—77. Лит. 56 назв.

Ремезов Н. П. Жизнь и деятельность академика К. К. Гедройца.— В кн. Гедройц К. К. «Избранные сочинения», т. I. Почвенные коллоиды и поглотительная способность почв. М., Сельхозгиз, 1955, с. 8—28, портр. рис., факс.

Ремзов Н. П. Константин Каэтанович Гедройц. М., Сельхозгиз, 1952, 126 с., рис., 1 вкл. л. портр., лит. 129 назв.

Ремезов Н. П. Константин Каэтанович Гедройц (1872—1932). В кн. «Люди русской науки». Биология, медицина, с.-х. науки. М., 1963, с. 860—867.

Ремезов Н. П. Предисловие.— В кн. Гедройц К. К. «Избранные сочинения», Т. I. Почвенные коллоиды и поглотительная способность почв. М., Сельхозгиз, 1955, с. 5—6.

Роде А. А. Краткий очерк научной и педагогической деятельности [К. К. Гедройца]. В кн. «Материалы к биобиблиографии ученых СССР. Серия почвоведения, вып. 5. Константин Каэтанович Гедройц. М., 1956, с. 6—24).

Роде А. А. Памяти учителя.— В кн. «Памяти ак. К. К. Гедройца». Л., Изд-во АН СССР, 1934, с. 63—69, портр. (Труды Почв. ин-та, т. 9).

Роде А. А. Учение проф. К. К. Гедройца о поглотительной способности почв.— Природа, 1927, № 6, с. 465—480. Лит. «Список главнейших трудов К. К. Гедройца». 19 назв.

Роде А. А. К. К. Гедройц и развитие теоретического почвоведения. (К столетию со дня рождения К. К. Гедройца).— Почвоведение, № 3, 1972.

Соколов Н. И. Гедройц К. К.– БСЭ, т. 14, 1929, с. 838—839. Лит.— 2 назв. о нем и «Главные труды» 10 назв.

Соколов Н. И. Работы К. К. Гедройца по изучению плодородия почв.— В кн. «Памяти акад. К. К. Гедройца». Л., Изд-во АН СССР, 1934, с. 45—61 (Труды Почв. ин-та, т. 9).

Соколовский А. Н. Гедройц К. К. (1872—1932). В кн. «Колхозная производственная энциклопедия». Т. 1. Киев, 1956, с. 247—249.

Соколовский А. Н. К. К. Гедройц как почвовед.— Химиз. соц. землед., 1933, № 1, с. 21—29.

Список научных трудов К. К. Гедройца.— В кн. К. К. Гедройц. Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение. Статьи и материалы по опытам на Долгопрудном опытном поле НИУ за 1930—1933 гг.». М.— Л., Сельхозгиз, с. 161—163.

Список научных трудов К. К. Гедройца.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 75—76.

Тарановская В. Г. Вегетационный метод в работах К. К. Гедройца.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 67—71, фото.

Теумин С. И. Памяти Константина Каэтановича Гедройца.— Химиз. соц. земл., 1932, № 9—10, с. 11—13, 1 вкл. л. портр.

Теумин С. И. Теория и практика К. К. Гедройца.— Химиз. соц. земл. 1933, № 1, с. 5—11, 1 вкл. л. портр. факс.

Тюлин А. Ф. Теория К. К. Гедройца и ее научная разработка в СССР в связи с химизацией социалистического земледелия в 1932/33 году.— Химиз. соц. земл., 1933, № 5, с. 31—36, лит. 14 назв.

Тюлин А. Ф. Учение Гедройца за 20 лет и агрономия.— Химиз. соц. земл., 1937, № 12, с. 61—73. Лит. 65 назв.

Тюлин А. Ф. Учение К. К. Гедройца и возможные перспективы его развития.— Химиз. соц. земл., 1933, № 1, с. 34—40.

Тюрин И. В. Значение работ К. К. Гедройца для развития советского почвоведение, 1957, № 9, с. 1—5.

Тюрин И. В. Работы К. К. Гедройца в области химии почв.— В кн. «Памяти акад. К. К. Гедройца». Л., Изд-во АН СССР, 1934, с. 33—44 (Труды Почв. ин-та, т. 9).

Тюрин И. В. Успехи русской науки в области химии почв.— В кн. «Успехи почвоведения». Доклады делегатов СССР на I Конгрессе Международного общества почвоведов в Вашингтоне. М., Бюро уполномоченных почвоведов СССР, 1927, с. 135—150.

Шконде Э. И. Академик К. К. Гедройц и агрономическая наука. (К 20-летию со дня смерти).— Почвоведение, 1952, № 12, с. 1111—1125. Лит. 45 назв.

Шконде Э. И. Памяти академика К. К. Гедройца. (Вечер в Московском доме ученых, посвященный 20-летию со дня смерти).— Вестн. АН СССР, 1953, № 1, с. 98—1000.

Ярилов А. А. Гедройц Константин Каэтанович.— С.-х. энц„ т. 1, 1937, с. 336—337, портр.

Ярилов А. А. Гедройц Константин Каэтанович.— С.-х. энц., т. 1, изд. 3, перераб., 1949, с. 425, портр., лит. 12 назв.

Ярилов А. А. К. К. Гедройц (1872—1932).— Почвоведение, 1932, № 4, с. 399—406.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аарнио В. 430
Антипов-Каратаев И. Н. 397
Аскинази Д. Л. 398

Белоусов К. 168
Бобко Е. В. 398

Вильямс В. Р. 113
Винокуров М. А. 398, 445

Германов Ф. Н. 160, 483, 564
Германова В. Г. 160
Горшенин К. П. 131, 525

Докучаев В. В. 165
Драчев С. 412

Егоров М. А. 110

Жолцинский И. П. 502, 503

Зайцев Б. Д. 157
Захаров С. А. 53, 157

Иванова Е. Н. 152, 156, 157, 504, 547

Ключарев А. 544
Коссович П. С. 21
Кравков С. П. 28
Кревс К. Я. 91
Курилов В. В. 99

Левицкий А. П. 36
Левицкий П. И. 34, 36
Лобанов Н. В. 411, 413

Маслова А. Л. 247
Михайлов Н. М. 165
Набоких 76
Неуструев С. С. 458

Нефедов Г. Ф. 180

Пейве Я. В. 188
Полынов Б. Б. 168, 195
Попков А. Д. 66, 70, 161, 167
Попов Т. И. 145

Рабинерсон А. И. 397
Роде А. А. 398, 484, 489, 496

Саваренский Ф. Н. 161
Симаков В. Н. 430
Соболев Ф. 412
Соколов Н. И. 389
Сушкина Н. 564

Танатор С. 60
Тарановская В. 564
Тер-Степанов 237, 240
Томс 193
Третьяков С. 26, 27
Трофимов А. В. 412, 413, 414
Тюлин А. Ф. 398

Чаянов С. К. 86

Шмидт 193

Энгельгардт А. Н. 38

Adams 432
Aschley H. 96

Baumann A. 39, 51
Bechhold H. 54, 101
Belt J. 16
Bemmelen van 19, 39, 40, 75, 82, 84, 95, 96, 99
Bischof G. 62
Bodländer G. 16
Bower L. D. 520
Bradfield R. 493
Breazeale J. 470
Briggs L. J. 6, 7, 16, 18
Brown 487, 489, 498

Cameron F. K. 8, 9, 11, 13—16
Coy Mc. 16
Cushman A. S. 21
Czsermak 58

Daikuhara G. 451
Doelter C. 11
Donnan 417
Dore W. 487, 489, 498

Engel R. 16
Endell K. 95
Ehrenberg P. 58

Failyer G. 6, 17, 32
Freundlich H. 91, 92

Gallay R. 174, 423
George 362, 470
Gorski Mc. 95
Gully E. 40, 84, 101
Greaves E. 238

Hasenbaumer 58, 95, 503
Hendriks S. B. 7, 485
Hessler 58, 96
Hilgard E. 62, 87, 88, 470, 542
Hoft van 16
Hurst L. 9, 13, 16

Jefery J. A. 23
Johnston 432
Kahlenberg L. 12, 19
Kelley W. P. 487, 489, 498
Kerr 498

King F. H. 7, 9, 23, 26, 29, 30, 32
Kohlrausch 12, 19
König J. 58, 96, 502, 503
Kozai Z. 82, 91

Lagergun 18
Lachs H. 43
Lane Mc. L. W. 6, 8
Luden R. van 106
Lemberg J. 102
Lincoln W. 12, 19
Loew 556

Mattson S. 417, 422, 451, 495, 496
Means 7
Michaelis L. 410
Miller E. 414—418
Mitscherlich E. 10, 53

Nernst 13
Noyes A. 13

Oden Sven 51
Ostwald Wo. 50
Osugis 452

Pallman H. 452
Pelet-Jolivet L. 106, 107
Perrin J. 114, 116

Ramann 40
Rice F. R. 452
Rindell 91
Robinson G. W. 459
Ross 498

Schloesing T. 6, 7
Schloesing Th. 5—7, 16
Schmidt C. 91
Schneider F. 106
Schreiner O. 6, 17, 32
Seidell A. 16
Shields 16
Shutt F. T. 26
Stokes 116
Stremme H. 99, 492, 502
Süchting 51
Svedber Th. 53
Szabo J. 62

Tacke B. 51

Way 91
Wegscheider R. 62
Weiser H. B. 432—434
Wherry E. T. 498
Whitney M. 7, 8, 13, 15, 23
Wiegner G. 91, 452
Witson A. K. 21

Zsigmondy R. 94

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абсолютная температура 408
Абсорбтивно-насыщенный гумус 40
— насыщенные почвы 40, 91
— ненасыщенные почвы 40, 91
Абсорбционные соединения 39, 40, 82, 99
Абсорбция 19—22, 82, 100, 409
Агрегатность поглощающего комплекса 526
Агрегаты 143, 420, 425, 426, 480, 506, 509, 510, 513, 514, 528, 536
— илистых частиц 513
— коллоидных частиц 201—205, 213, 223, 224, 246, 252, 256—257
— механических элементов 511
— молекул 495
— структурные 426
Агрономические свойства почвы 201, 204, 205, 210, 211, 218, 222, 224, 225, 233—235, 252, 253, 256—258
— — почв, их зависимость от климата и погоды 256, 257
Адсорбированные основания 493
Адсорбирующая способность аморфной кремнекислоты 18
— — кварца 18
Адсорбирующие вещества 18
Адсорбционные соединения 436
— явления 18
Адсорбция 19, 21, 59, 82, 89, 91, 94, 95, 401, 411, 415, 417, 419, 431, 434
— анионов 418, 419, 432
— — отрицательная 408, 409, 411, 416—419, 480
— гидролитическая 416—418, 420
— молекулярная 416
— положительная 411—413, 416—420, 480
— углем 91
— физическая 408, 416, 419, 420
Азот 44, 147, 544, 545, 549, 556
— нитратный 544, 362
— нитратов 27
— потеря 544
— прибыль 25
Азотистое питание 545, 547
Азотистые органические вещества 147
— — соединения 147, 362
— — — гумуса 161
Азотистый баланс почвы 253
Азотная кислота 34, 132, 409, 544, 545
— — определение 23
Азотнокислые соли 26
Азотнокислый калий 416
— кальций 414
Аккумулятивная деятельность растений 193
Активированный уголь 415—417
Алкалоиды 409
Алкоголь 528
Аллювиальные почвы 158
Алюминий 94, 103, 104, 111, 128, 151, 423, 432, 449, 451, 452, 461, 462, 493, 494, 520, 537, 542
— гидрат окиси 423
— гидроокись 99
— гидроокись коллоидальная 111
— поглощенный 111, 118
— хлорид 118, 121
— хлористый 105, 121, 423, 434
— цеолитный 121
Алюмокремневая кислота 457, 458
Алюмосиликатная часть 164
— — поглощенного комплекса 161, 168, 170, 456, 491, 492
— — почвенного поглощающего комплекса 140, 144—146, 157, 160, 163, 164, 456, 492
— — почвы 132, 160, 213—251, 490, 527, 537
— — солонца 146
Алюмосиликатное ядро 126, 135, 136, 138, 140, 148, 155, 492, 496
— — поглощающего почвенного комплекса 138, 145, 156
— — солонца 428
Алюмосиликатные зерна породы и почвы 453
— соединения 476
— — материнской породы 492
— частицы 403, 126
Алюмосиликатный коллоидальный комплекс 428

— (поглощающий) комплекс почвы 111, 126, 138, 139, 144—146, 148, 149, 153, 436, 492
Алюмосиликаты 149, 249—251, 455, 485, 497
— коллоидально-распыленные 421
— насыщенные основаниями 455
— почвы 492
Аллюмоферрикремниевая кислота 479
Аммиачная вытяжка из торфа 51
Аммиачные удобрения 544
Аммонизация 244—245
Аммоний 110—111, 109, 423, 434, 436, 440—442, 445, 450, 461—463, 498, 502, 510, 529, 530, 540, 549
— поглощенный 109, 118
— Хлористый 118, 423, 441, 450, 506
— цеолитный 119—122
Аммонийный ион 128
Аморфная кремнекислота 130, 148, 149, 153—157, 159, 161, 169, 170, 456, 537
— — содержание в почвах 229
Аморфное состояние 404
Аморфные вещества 61
— гели 104
— коллоидальные силикаты 94
— тела 104
Аморфный вид вещества 432
— фосфорит 37
— характер продуктов присоединения 104
Анаэробные восстановительные процессы 249, 250
Анаэробная микробиологическая деятельность 562
Анион азотистой кислоты 542
— азотной кислоты 542
— кислых солей и свободных кислот 457
— поглощающего комплекса 453
— серной кислоты 543
— силиката 456
— соляной кислоты 542
— углекислоты 542
— фосфорной кислоты 542
Аниона значность 419
Анионная часть почвенного поглощающего комплекса 538
Анион(ы) 404, 418, 419, 421, 422, 425, 432, 433, 510, 540—543
— нитритов 418
— простых солей 540
— солевых растворов 540
— хлоридов 418
Ацетон 411
Аэрация 182, 561
Аэрация 182, 561
— почвы 180, 183, 252, 239—245, 562
Аэробная микробиологическая деятельность 562
Аэробные микроорганизмы 246, 249, 252

Бактерии 546
— клубеньковые 237
Барий 460, 462, 504, 505, 506, 511, 517, 518, 520, 539, 547, 549
— поглощенный 118
— сернокислый 432, 434
— хлористый 118, 433
— цеолитный 121, 122
Барит 44, 47
Безводные силикаты 76
Безгумусный горизонт 164, 532
Бензойнокислый калий 416
Бентонит 418, 422, 486, 488, 497
— магнезиально-калийный 488
— магнезиальный 488
— насыщенный кальцием 486
— содержащий обменный натрий 486
Бескарбонатные солонцеватые почвы 137
— солонцы 130, 133, 134, 137, 138, 139, 144, 146, 152, 153, 428, 467—470
Бескарбонатная почва 160, 168, 469, 470, 523
Бесструктурность 248, 252
Бесструктурное состояние почв 405
Бесструктурность естественных почв 520
— почвы 174, 184, 561, 562
Бикарбонаты 475
— щелочные 475
— щелочноземельные 475
Биологическая часть почвенного поглощающего комплекса 396
Биологические агенты 494
— свойства почвы 362
— явления в почве 526
Биологическое выветривание материнской породы и почвы 491
— поглощение 412, 545, 546
Боковые воды (грунтовые) 156
Броуновское движение 202, 421
Бумага лакмусовая 38—45, 40—42, 44, 47
Бурозем 452
Быстрота фильтрации суспензии 521

Валовая кремнекислота 157, 162, 166
Валовой анализ почвы 189, 190
Валовой анализ 156, 162, 164, 165, 482—484, 496
— состав механических фракций 481, 485
— состав почвы 189—190, 257, 258
— — солонцеватых почв 166
Вегетационный метод 561

Величина атомного веса 519
— емкость 446
— — обмена 546, 555
— — поглощения 446
— набухания 105
— ненасыщенности почвы 47
— поверхности 408, 420
— поверхностного натяжения 412, 419
— почвенного поглощающего комплекса 524, 525, 527, 546.
— частиц коллоидальной глины 520
Вещества аморфные в коллоидальном состоянии 107
— восстанавливающиеся 401
— высокомолекулярные 409, 426—428
— коллоидально-распыленные 426—428
— коллоидально-растворенные 52, 53
— коллоидальные 38
— мелко раздробленные однородные 413
— мертвые органические 401
— минеральные 401
— ненасыщенные основаниями 40
— окисляющиеся 401
— органические 401, 414
— отрицательно адсорбированные 412
— поверхностно активные 412
— повышающие поверхностное натяжение 410
— положительно адсорбированные 412
— понижающие поверхностное натяжение 409, 410
— почвенные органические 429, 430
— почвы коллоидальные 429, 430
— труднорастворимые 81
Взаимная коагуляция гидратов окиси железа и алюминия с почвенным органическим веществом 429, 430
Взаимная коагуляция золей гидрата окиси железа и кремнекислоты 431
— — (коллоидов) 428, 429, 430, 433
— — коллоидальных частиц поглощающего комплекса 480, 495, 532
Взаимное осаждение коллоидальных веществ почвы 429—430
— свертывание (коллоидов) 428
Взаимодействие между почвой и раствором любых солей 447
— растворов с почвой 442
— почвы с раствором хлористого аммония 434
Взаимообмен 471, 476
Виды поглотительной способности почв 403, 404
Вика 237, 255, 256
Вискозометрия 174, 175
Влага пленочная 413
Влагоемкость капиллярная и некапиллярная 237
— полная 413, 415, 561, 562
— почвы 413, 467, 561, 562
— торфянистых почв 60
Влажный климат 544
Влияние мороза на коагуляцию почвенных коллоидов 50
— продолжительности взаимодействия между почвой и раствором хлористого аммония 440, 447
Внешние молекулы 485
Внешняя поверхность частицы 499
Внутренняя поверхность частицы 499—501
Вода 52—55, 59, 62, 63, 66, 68, 74, 79, 80, 83, 130, 141, 453, 457, 458, 462, 466, 468—480, 495—498, 511—516, 523, 526, 528, 537, 549, 555
— в капиллярах 528
— внутреннее трение 113, 114
— восходящее и нисходящее движение 14, 15
— как главный фактор химического выветривания земной коры 456, 457
— действие на почвенные агрегаты 223, 224
— выщелачивающее действие 178
— разрушительное действие 180
— распыляющее действие 227
— дестиллированная 47, 414
— межагрегатных пространств 528
— насыщенная углекислотой 105
— недоступная растениям 224
— полезная для растений 254, 255
— почвенная 106, 401
— связанная (почвой) 415
— содержащая углекислоту 49
— химически связанная 117, 132
Водная вытяжка 194, 225, 241, 242, 454, 455, 468, 472—479, 523, 543, 552
— — из почвы 38, 40, 41, 42, 44, 47, 406
— — нейтральная 40, 41
— — трехминутная 54
— — продиализированная 60
— — почвенная 54
— среда 480
Водорастворимая кремнекислота 138
Водорастворимые вещества 28, 29, 34—36, 52, 53, 58, 60, 106, 132, 133, 134, 137
— — минеральные 477, 478
— — органические 167
— соединения почвы 26, 32, 36, 86, 87, 480, 481
— соли 28—31, 33, 36, 476
— изменяемость 31
— — количество 31

— элементы 33
Водорастворимый гумус 135, 163, 529
Водные вытяжки 7—9, 28—31, 33, 34, 36, 52—58, 60, 62, 63, 64—67, 69—82, 84, 86—88, 102, 131—138, 141—144, 163, 165, 168
— — время настаивания 17
— — из гумусовых горизонтов солонцеватых почв 141
— — из карбонатных солонцов 141
— — из несолонцеватых почв 132
— — из сильно солонцеватых почв 133, 134
— — из солонцеватых почв 141
— — исследование 17
— — почвы 14, 15
— — продиализированные 133—134
— культуры 557
— оболочки 515
— растворы 10, 11, 16, 17
— свойства 514
Водный раствор из почвы, насыщенной натрием 79, 80
Водный и воздушный режим носовских почв, 239—242, 246, 247
Водный режим почвы 128, 172, 181, 182, 255, 256, 257, 258, 395, 547, 561—563
Водопроницаемость почвы 144, 168, 244, 245, 253, 254, 255, 515
— глины 521
Водопропускающая способность почвы 252
Водород 121, 179, 409, 450, 451, 453, 454, 456, 457, 458, 460, 462, 463, 495, 500, 501, 520, 521, 529, 539, 547, 557
— поглощенный 109—111, 118, 122, 127—129
— цеолитный 119—122
Водородный ион 111, 129, 177, 179, 395, 420, 423, 424, 425, 432, 449, 454, 521, 522, 534, 535, 539, 550
— — воды 453, 454—457, 499, 509, 532—536, 543, 554, 555
— — почвенного раствора 454, 552
— катион 450, 451, 453—455, 462, 463
Водоудерживающая и водонакопляющая способность почв 247
Водоудерживающая сила почвы 117
— способность 104, 515, 532
Воды дренажные 544
— грунтовые 40—41, 544
Воды оподзоливающихся почв 555
Воздух почвенный, зависимость его состава от влажности 257, 258
Воздушно-сухое вещество 482
— — состояние почвы 415
Воздушный режим почвы 172, 174—175, 182, 246—253, 257, 258, 395, 547, 561—563
Восстановительные процессы в почве 240, 241, 249, 250
Вредное действие поглощенного водорода 128
Вредные катионы 395
Вторичная почва (см. почва)
Вторичное насыщение 506
Вторичные подзолы (см. подзолы)
— частицы комплексов 480
— частички 509, 510, 514
Выветривание 62, 63, 456, 457, 491, 492, 495
— алюмосиликатов 492
— породы 500, 501
Выветривающее действие атмосферных агентов 498
— — воды 499
Выделение почвенного катиона 538
— — поглощающего комплекса 538
Вымываемость гумуса из чернозема 530
— коллоидального органического комплекса 521
— легкорастворимых солей 465
Вымывание вытесненных оснований 534, 535
— органических веществ 530
— питательных веществ из почвы 544
Вымывающее действие воды 145
Высокодисперсная система 514
— твердая часть почвы 532
— фаза 403
— часть коллоидальной фракции 507, 508
— — почвы 532
Высокодисперсное распыление водой органической части поглощающего комплекса 520
Высокодисперсные золи 527
— коллоидальные растворы органических веществ 480
— соединения 527
Высокомолекулярные вещества 409
Вытеснение алюминием 422
— аммонием 539
— водородным ионом воды 521
— кальцием 539
— поглощенных катионов 524, 525
— — оснований 539
— — — катионами солей 523
— — — почвы ионом водорода 539
— солевыми растворами 526
Вытесняемые катионы 435
— поглощенные основания 437—440
Вытесняемый кальций 444

Вытесняющая деятельность водородного иона (воды) 509, 521, 522
— жидкость 442
— соль 441
Вытесняющий катион 410, 440
Вытяжка водная из почвы 38, 40—42, 44, 47, 122, 123, 406
— едким калием 149, 150, 169
— из бескарбонатного солонца 142, 143
— из карбонатного солонца 142, 143
Вытяжка из почвы, насыщенной натрием 83
— из чернозема 532
— лимоннокислая 32—34, 79—81
— приготовление 32
— сернокислым натрием 82
— содой 82
— соляная 47
— солянокислая(ые) (см. солянокислые вытяжки)
— уксуснокислая(ые) (см. уксуснокислые вытяжки)
— хлористым натрием 82
Вычисление емкости поглощения (обмена) 540
Выщелачиваемые воды 168
Выщелачивание 146
— атмосферными осадками 144
— гуматной части почвенного комплекса солонцов 146
— гумуса 145
— — несолонцеватых почв 135
— — солонцеватых почв 135
— органического вещества из почвы 109
— органической части почвы 146
последовательное 66
— почвы водой 64, 65
— сернокислого натрия 66
— сильно и слабо солонцеватых почв 164
— солонца 86, 87
Вязкость почвы 61

Газовые смеси 410
Газообмен почвы 183
Газообразная фаза 409
Галлертообразующий ион 104
Галлерты 100, 101, 103, 104
Галлоизит 498
Гели (в почвах) 52, 53, 61, 80, 81, 106, 494
— вязкость 61
— гидрофильных коллоидов 100, 101, 103, 104
— гидрофобных коллоидов 100, 101, 103, 104
— истинные, или галерты 212
— клейкость 61
— кремнекислоты 104
— минеральные 61
— набухаемость 61
— необратимые 213, 214
— обратимые 213, 214
— окиси железа 104
— органические 61
— полуобратимые 61
— почвенные 61, 85
— структура 93, 94
Гель 89, 515
Гемоглобин 20
Генезис (почвы) 98, 99, 146, 170
— несолонцеватых почв района Носовской опытной станции 230
— — черноземов Макиевки 230
— почв днепровского ледникового языка 161
— почвы заливных лугов 160
— солонцовых почв 469, 470
— черноземных почв днепровского ледникового языка 161
— южных подзолов 147
— — подзоловидных почв 148
Генетический горизонт почвы 402
Гигроскопическая вода 162, 166, 482
Гигроскопичность 490, 491
— наибольшая 483, 490, 491
— почвы 59, 61
— торфянистых почв 60
Гидратации степень 422
Гидрат окиси алюминия 19, 20, 122, 406, 428, 429—430, 454—455, 494, 497
— — железа 19, 20, 95, 122, 148, 406, 428, 429, 495, 497, 565
— — кадмия 20
— — кальция 144, 408, 425
— — кремния 122
— — марганца 206
— — поглощенных оснований 177
— — щелочноземельных металлов 415
— — щелочных металлов 415
— основания 11, 19
— угольной кислоты 11, 12
Гидрогель 20
Гидрозоль 409, 522
Гидроксильный ион 11, 12, 80—83, 85, 123—125, 140, 142—144, 174—179, 425, 426, 510, 521—523
— — как стабилизирующий фактор 203
Гидролиз (солей) 11, 12, 54, 417, 418
— углесолей кальция и натрия 510
— электролитов 480
Гидролитическая адсорбция (почвой) 416—418, 420
— диссоциация (солей) 54, 417, 425, 521
— — соды 510
— — степень 21, 22

— кислотность 539, 552, 555
— способность почвы 540
Гидролитическое расщепление солей 403, 416, 539
Гидрологический процесс 539
Гидроокиси металлов 50
Гидроокись алюминия 421, 457, 480
— железа 421, 457, 480
Гидрофильная часть почвы 532
Гидрофильные золи 422
Гипс 11—12, 87—89, 178, 179, 467, 478, 543, 557
— применение его для мелиорации солонцов 231
— растворимость 16
Гипсование (почвы) 129, 179, 395
Главный цементирующий фактор в почве 520
Глина(ы) 452, 497, 520, 521
Глинистая(ые) почва(ы), 139, 204, 205, 223
Глинистый чернозем 504, 505
Глинозем 124, 125, 133—135, 149, 153, 157—159, 179
Горизонт бескарбонатный 256, 257
— вскипания 225, 226
— карбонатный 256, 257
Горная порода 456, 457, 494, 499
Грунтовые воды 40, 41, 144, 156, 481, 490, 544
Гумат(ы) 39, 40, 74, 80—82, 100, 101, 144, 251, 478, 497
— аммония 51
— кальция 142—144
— насыщенные натрием 75
— натрия 59, 74, 75, 78, 80, 81, 133, 134, 140, 142—144, 479
— натрия солонца 144
— почвенные 77, 139
– ненасыщенные основаниями 454, 455
Гуматная часть 132, 141, 142, 145, 491, 521—523, 531, 532
— — бескарбонатного солонца 146
— — поглощающего комплекса (почвы) 142, 143, 144, 147, 165, 491
— — почвы 111, 225, 227, 393, 406, 491, 521—523, 531, 532, 545
Гуматные катионы 436
— основания (почвы) 123, 124, 436
— соединения 476
Гуматный комплекс 498
— поглощающий комплекс 523
Гуминовая кислота диализированная 59
Гуминовокислый натрий (гумат натрия) 206, 213
Гуминовые вещества 19, 95, 100—105
— — насыщенные калием 104
— — почвы 42
Гумификация мертвых органических остатков 147
Гумус 32, 38, 87, 88, 100, 101, 111, 112, 130, 132—137, 141—143, 145—148, 161, 164—166, 193, 206—208, 225, 227, 230, 241, 251, 405, 406, 429, 430, 454, 455, 481—484, 491, 497, 511, 519, 521, 523, 526, 528—532, 534, 535, 540
— абсорбтивно-насыщенный 39, 40
— абсорбтивно-ненасыщенный 39, 40
— водорастворимый 531
— кислый 39, 40
— насыщенный основаниями 38
— почвы 540, 555
— растворение его водой в почве 227
— растворимый 44
— солодей 147
— насыщенный (основаниями) 38—40
Гумусовые вещества 38, 565
— кислоты 21, 22, 38, 51, 54, 111, 454, 455
— соединения 100, 101

Двойной обмен основаниями 460
— электрический слой 504, 505
Двууглекислая сода 62, 63, 65, 73, 74, 468, 471, 473
Двууглекислые соли 473—475
Двууглекислый кальций 49, 62, 63, 142, 143, 472, 510
— натрий 76, 140
Двухкальциевый фосфат 37
Двухромовокислый калий 413
Деградация несолонцеватых почв 145, 147
— — черноземов 142—145, 225—229
— почвы 454, 455, 534, 535
— солонцеватых (солонцовых) почв 180, 225—229, 428
— солонцов 145, 180, 225—229
— чернозема 147
Деградирование черноземов 130
Деградированный(ые) чернозем(ы) 130, 454, 455, 465
Действие воды на материнскую породу и почву 131
— — на солонцеватую(ые) и несолонцеватую(ые) почву(ы) 131, 132
— — на чернозем 519
— избыточного известкования на лен и горчицу 555
— перекиси водорода на почву 531
Деятельная часть коллоидов 52, 53
Деятельные почвы 526
Диализ водных вытяжек 52, 53
— почвы 74, 78, 111
Диализатор 5€

Диализированная гуминовая кислота 59
Динамика поглощенных оснований почвы 414
— почвенная 402
— почвенного раствора 413
— почвы 402
Дисперсионная среда 50, 197, 204, 205, 212, 407, 408, 410, 411, 421, 428
— фаза системы 407, 408, 410, 413, 415, 420, 500—501, 542
Дисперсность 494, 519
— вещества 496
— гуматной части почвы 111, 112
— — фракции 123, 124, 125
— почвенных частиц 112, 113
Дисперсные частицы 410
Диссоциация кислот 11, 12
— солей гидролитическая 417
Диссоциированный гидрат основания 11
Дитионат 433
Диффузия солей 6, 13
Диффундирование 54

Едкий барит 47
— калий 18, 80, 81, 83, 148, 149, 153—159, 416, 417, 537
— натрий 80—83, 425, 469, 470, 492, 521—523
Емкость обмена 446, 481, 486, 502, 504, 505, 507, 520, 521, 523, 526, 529, 540, 549, 550, 552, 557
Емкость поглощения почвы 400, 442, 445—450, 457, 465, 467, 503—505, 523, 526, 537, 538, 540

Железо 11, 12, 61, 95, 100, 101, 104, 127, 128, 148, 149, 423, 462, 492, 494, 520, 537, 542, 549
— гидроокись коллоидальная 111
— двухвалентное 100, 547—549
— закисное, его ядовитость для растений 240, 241
— закисные соединения 11, 12
— окисное (окись) 123, 124, 179, 520, 537, 538, 542
— поглощенное 109—111, 118
— трехзначное 547, 549
— хлорное 118, 121, 123, 124, 423, 460
— цеолитное 121
Желатин 20
Животные организмы 546
Живые организмы 527, 545
Жидкая фаза (почвы) 402, 408, 419, 462, 465, 499, 500, 501
Жидкий гидрозоль 50 (см. гидрозоль)
Жизнь почвы 401

Заболачивание 181, 515
Заболоченные почвы 168
Залежная растительность 173
«Западинный подзол» 151—153, 156, 428
Засоление почвы 160, 161, 167, 467
Засоленная почва 178, 424, 463—465, 469, 470
Засоляющие соли 141, 142, 178
Засушливая почва 466
Защитная роль гумуса 532
Защитное действие $CaCO_3$ 529
— — растворимых солей 155
Защитный коллоид 532
Зернистая структура почвы 181, 182, 509
Злостный солонец (см. солонец)
Значность анионов 419, 422
— катионов 422
Золи 50, 52, 53, 80—82, 84—87, 422, 429—431, 433, 434
— в почвах 204, 205, 212—214
— гидрофильные 422
— гумата натрия 213
— кремнекислоты 429—431
— кремнекислоты и полуторных окислов 148
— минеральные 83
— окиси железа 148
— органические 83
— полуторных окислов 148
— гидрата окиси алюминия 429—431, 433
— — — железа 429—431
Зольные элементы 415
Зольобразующий ион OH 82
Зона неосаждаемости 428
— осаждаемости 428
— подзолистая 424, 465
— полупустынных почв 178
— черноземов 466
Зональность почв 398, 399

Избыточное известкование 554, 555
— увлажнение 466
Известкование 127—129, 395—397, 557
— как мера улучшения ультрамеханического состава почвы 108, 129
— почв(ы) 43, 552
— — полностью насыщенной основаниями 555
Известняки 62—63
Известь 37, 38, 43, 44, 49, 60, 65, 74, 91—93, 95, 98, 99, 102—104, 127—129, 550, 554
— вытеснение 92, 93
— выщелачивание водой 102
— легко обменивающаяся 97

— содержание 97
Извлечение катионов 529
Изоамиловый спирт 412
Изотерма адсорбции 90
Ил 115, 407, 502, 503, 506, 513, 524, 525
Илистая фракция 139, 488, 489, 511—514, 517, 518, 524, 525
— — почвы 113—115, 123, 124
— часть почвы 506
Илистые частицы 406, 504, 505, 506, 513, 524, 525, 527
— — минеральные 117
— — органические 117
— элементы 524—525
Иллювиальный(ые) горизонт(ы) 406, 429, 430
Инверсия сахара 452
Индиго 20
Индикатор 38—41
Индифферентная часть гумуса 147
Инстабилизатор коллоидных растворов 426
Инстабизирующее действие катиона 425
Инстабилизирующий(е) фактор(ы) 148, 422, 425, 428
Интенсивность динамики почв 407
Иодид (анион) 432
Ионы 79—81, 411, 421, 424—426, 433, 434
— алюминия 104
— алюмосиликатных солей 540
— аммония 434, 446
— водорода 11, 12, 124, 125, 395, 423—425, 434, 450, 540
— гидроксильный 80—82, 424—426
— двууглекислоты 140
— кальция 142—144, 434, 454, 467, 468, 486, 496, 498, 509, 545, 554
— кальция и магния 140, 552
— натрия 82, 104, 140, 467—470, 510
— отрицательный 20, 29, 30
— поглощенный 21, 22, 82
— положительный 20, 29, 30, 80, 81
— хлора 434
— электролита 421
Искусственно полученные солонцы 130
— приготовленные почвы 160
— приготовленный цеолит 103
Искусственное орошение 87, 88
Искусственные солонцы 136—137, 141, 142, 536
— цеолиты 100
Испаряющая способность почвы 254, 255
Истинная величина емкости поглощения почвы 524, 525
Истинные растворы 495
Источники поглощенного водородного иона 545
Кадмий 432, 547
Калий 11, 75, 83, 103, 104, 121, 124, 125, 148, 160, 166, 409, 416, 417, 432, 447, 449, 461, 463, 502, 503, 510, 519, 529, 537, 540, 545, 547, 549, 557
— азотнокислый 416
— бензойнокислый 416
— двухромовокислый 413
— едкий (см. калий)
— коллоид 418
— лимоннокислый 416
— марганцевокислый 147
— поглощенный 109, 118
— салициловокислый 416
— сернокислый 416
— хлористый 118, 416
— цеолитный 119—122
— щавелевокислый 416
Калиевый полевой шпат 198, 199
Калийные соли калийная соль 40, 41, 43 61, 129, 416, 466, 549
Кальциево-натриевые почвы 463
Кальциевые силикаты 486
— соединения почвы 523
— соли 463—465, 468, 549
— солончаковые почвы 463
Кальциевый солончак 424, 478
Кальций 11, 61—63, 73—75, 78, 80—82, 91, 95, 98, 99, 100, 101, 104, 124, 125, 127—129, 140—144, 168, 180—182, 423, 439—436, 444—449, 454, 455, 462—470, 485—489, 498, 499, 509—515, 520—523
— азотнокислый 21, 22
— двууглекислый, его свертывающее действие 49, 142, 143, 256, 257
— вытеснение натрием 91—93, 98, 99
— — хлористым аммонием 92, 93
— гидрат окиси 178
— гипса 557
— гуматный (гуматов) 80, 81, 109, 118, 123
— ион 465
— каолин 457, 458, 495, 546
— коллоид 418
— необменный 547
— обменный 418
— окись 112
— поглощенный 108—114, 117, 118, 223—225, 230, 251, 426, 554
— соли 463
— углекислый 37, 42, 74, 76, 78, 84, 108, 425, 428, 471, 476, 543
— хлористый 39—41, 43, 118, 423, 424, 431
— цеолитный 109, 112, 113, 118—123
Каолинизация 494

Капиллярная вода 243
Капиллярная порозность 181
Капиллярное поднятие воды 254, 255
Капиллярные ходы 243—245, 252, 254—256, 401
— пространства (капиллярная порозность почвы) 181
Капилляры почвенные 405
Карбонаты 16, 132, 135, 496, 560—561
— кальция и магния 118, 132, 135, 138, 139, 141, 142, 463, 479, 542
— натрия 479, 542
— нормальные 163
— щелочноземельных металлов 163
— щелочных металлов 425
Карбонатность почвы 160
Карбонатные почвы 469, 532, 533
— солонцеватые почвы 167
— солонцы 136, 137, 161, 428, 469, 470, 471, 478, 497
Катионы 202, 207—209
— аммония 123, 124, 125, 437, 447, 545
— водорода 123, 451, 462, 479, 520
— в необменном состоянии 547, 549
— в обменном состоянии 549
— вредные 395
— вытеснитель 522, 524, 525
— гуматные 109
— горных пород 453
— двузначные 111, 124, 125, 178, 435, 460, 461, 510
— калия 123, 126, 425, 462, 463, 488
— кальция 140, 424, 425, 462, 463, 466, 467, 479, 488, 510, 511, 543
— кислоты 450
— краски 106
— лития 123
— магния 123, 140, 520
— металлические 424, 450
— молекул 500, 501
— натрия 123, 396, 397, 425, 426, 462, 463, 469, 470, 488, 510, 511, 542
— обменные 395
— однозначные 124, 125
— первой группы III
— почвенного поглощающего комплекса 498
— почвенного раствора 462, 465, 498
— серебра 123
— солевой жидкости 452
— соли (солей) 20, 447, 542, 543
— способные к обмену 445, 537
— стимулирующие 396, 397
— трехзначные 111, 124, 125, 461
— цеолитные 109, 121
— щелочного металла 522
— электролитов (электролита) 421, 451, 500, 501
Качественный состав поглощающего комплекса 537
Каштановый чернозем 76
Кварц 93, 94, 485, 498
Кислая почва (почвы) 38—41, 423, 451, 552, 557
— реакция (почвы) 38—43
Кислород 11, 12, 181, 546
Кислота 38, 40, 41, 47, 48, 415, 416
— азотная 409
— минеральная 40, 41
— неорганическая 409
— свободная 38—41
— серная 415, 424
— слабая 403, 539
— соляная 40, 41, 53, 409, 423
— уксусная (см. уксусная кислота)
— ферро-алюмосиликатная 457
— фосфорная (см. фосфорная кислота)
Кислотность 44
— почвы 451, 452
— «активная» 108
— гидролитическая 539, 540
— обменная (см. обменные кислоты)
— «пассивная» 108
Кислотный радикал 20
Кислые алюмосиликаты 454, 455
— растворы 42, 450
— соли 424, 447, 457
Кислый гумус 38—40
— эффект 452
Клевер 237—240, 241, 244—246, 253—257
— влияние его культуры на воздушный режим носовских почв 241—242
— влияние на водный режим носовских почв 253—256
— влияние на действие минеральных удобрений 258, 259
— влияние на структурность носовских почв 253—256
— иссушающее действие на почву во время произрастания 258, 259
Клеверный пар 237, 253
Клейкость почв 225
Клеящая способность коллоидов 201, 223
— — почвенных частиц 247, 248, 251
— сила 509
— способность поглощающего комплекса 509
Коагулятор (коагуляторы) 421, 424, 426, 494
— коллоидально-распыленных почвенных частиц 423

Коагуляция 173—177, 420—423, 429—431, 433, 494, 497, 532
— быстрая 422
— взаимная 428—431
— золя 212
— коллоидов, коллоида 50, 421, 422, 428, 434
— медленная 422
— обратимая 212
— под влиянием известкования 58
— — — мороза 59
— — — просыхания 59
— — — электролитов 59
— почвенных коллоидов 425, 426
Каолинит 498
Кобальт 547—549
Количество соды в водных вытяжках 73
Коллоиды 19, 20, 51, 56, 58—60, 85, 90, 408, 418, 421, 424—430, 433, 434, 488, 490, 491, 507, 508
— дисперсоиды 52, 53
— красочный метод определения в почве 93, 94, 105
— минеральные 80, 81
— неорганические 421
— неустойчивые 123, 124
— определение в почве 100, 101, 107
— органические 80, 81, 142, 143, 421
— осаждение электролитом 20
— отрицательные 80, 81, 422, 424, 425, 433
— положительные 421, 425, 433
почвенные 418, 422, 425
— содержание в почвенном растворе 107
— устойчивые 123, 124
Коллоидальная гидроокись алюминия 124, 125
— — железа 124, 125
— — кремния 124, 125
— глина 492, 497, 520
— гумусовая кислота 54
— кремнекислота 52, 53, 86, 87, 421, 428, 492
— мельница 396, 397
— механическая фракция почвы 508
— минеральная часть (почвы) 428, 494
— мицелла 398, 399
— область почвы 496
— растворимость 481
— система 421, 422, 425
— смесь 500—501, 507
— фракция (почвы) 177, 247, 248, 407, 426, 484, 485, 502, 506—508, 509, 524—525
— частица 121, 123, 124, 178, 403, 406, 407, 418, 420—422, 424, 428, 433, 506, 513, 515, 528
— — почвы 172, 177, 402, 408, 418, 425—428, 454, 455, 488—490, 492, 513, 514, 534—536, 538
— — чернозема 488
— часть почвы (коллоиды почвенные) 197, 200, 201, 204—207, 224, 248
— — — ее роль в образовании структуры 204, 205
— — — — в реакциях почвы с почвенной влагой 198, 199
Коллоидально-раздробленное вещество почвы 253, 495
Коллоидально-раздробленные алюмосиликаты 495
— — органические и минеральные почвенные частицы 508
— — соединения 494
— — частицы 428, 480
Коллоидально-распыленная часть почвы 503
Коллоидально-распыленное состояние 422, 428
Коллоидально-распыленные вещества 421, 426, 428, 495
— гидрат окиси 462
— перегнойные вещества почвы 421
— почвенные соединения 401
— частицы 403, 423—425
— частички минерального вещества 402, 423
Коллоидально-распыляющая способность почвенных растворов 402
Коллоидально-растворенная кремнекислота 148
Коллоидально-растворенное вещество 52—54, 56, 59—63, 497
Коллоидально-растворенные гидраты окиси железа и алюминия 492
— — полуторных окислов 148
— частицы 144
Коллоидально-химический синтез 495
Коллоидальное раздробление 492, 495, 514
— состояние (вещества) 19, 54, 423
Коллоидальность почв(ы) 93—94, 103—105, 379, 414
Коллоидальные агрегаты 497, 520
— вещества 38, 50, 52—54, 56, 58, 93, 94, 95, 96, 104, 422, 429, 430, 565
— гидроокиси алюминия и железа 54, 428
Коллоидальные минеральные частицы 139
— окиси кремния, железа и алюминия 494, 502
— органические вещества 51, 80, 81, 428
— почвы 107

реакции 494, 502—510, 513, 514, 517, 518
— растворы 20, 107, 140, 145, 204—206, 212, 214, 421, 424, 433, 492, 497, 527
— — гуминовых веществ 227
— — золота 100, 101
— — платины 100, 101
— — серебра 100, 101
— свойства (почв) 51, 80, 81, 100, 101
— системы, изменение состояния 201, 202
— частицы 139, 202, 204—207, 213, 227, 223—225, 248, 251, 252, 254, 256
Коллоидальные растворы 204—206, 212—214
— — нормального чернозема 223
— — клеящая способность 224
Коллоиды лиофильные, или гидрофильные 212, 213
— лиофобные, или гидрофобные 212, 213
— минеральные 207, 213
— обратимые 212
— органические 207
— почвенные 213
— — заряд их частиц 202, 203
— — отрицательные 202
— — положительные 202
— свертывание, или коагуляция 202, 203, 206, 256, 257
Комплекс алюмосиликатный 436
— аморфных коллоидальных силикатов 100
— органический 111
— почвенный поглощающий (см. почвенный поглощающий комплекс)
— соединений 420
Конденсационный способ 495, 496
Конденсация молекул 495
— веществ, извлекаемых из почвы 59
— водородного иона 420, 453, 454
— — — в почве 368
— вытяжек 9, 10
— иона аммония 460
— иона кальция 454, 552
— катионов 425
— — коллоида 433
— натриевых солей 476, 468
— солей почвенного раствора 126
Концентрация оснований, общая в растворе 90
— общая питательных веществ 23
— отрицательная 500, 501
— положительная 500, 501
— почвенного раствора 9, 10, 14—18, 21, 22, 28, 29, 52, 53, 82, 413, 414
— фосфорной кислоты 9
Корневые выделения клевера 256, 257
Костяная мука 43
Краски органические 409
— осаждение их почвами 107
— поглощение 95, 96, 105—107
Краснозем 126, 457
Кремнезем 100, 124, 125, 149
Кремнекислота (кремневые кислоты) 11, 19, 20, 50, 54, 58, 61, 86, 87, 95, 100—102, 106, 132, 135, 136—138, 145, 146, 148, 149, 157, 159, 160, 163, 164, 168, 206, 406, 428, 480, 485, 492, 495—497, 530, 532, 537, 538, 565
— аморфная (см. аморфная кремнекислота)
— валовая 157, 162, 166
— коллоидальная 421, 428
Кремний 492, 537
— гидрат окиси 122
Кристалл-виолет 96, 106
Кристаллические минералы 498
Кристаллическое состояние коллоидальных частиц почвенного поглощающего комплекса 497
Кристаллический каолинит 95
Кристаллоиды 52, 53
Кристаллы алюмосиликатов 404
— силикатов 404
Критический потенциал второй 422
— — первый 422
Кровяной уголь 411, 413
Крупнозернистая почва (почвы) 405, 515
— фаза 407
Куломзинский фосфорит 47, 48

Латерит 60
Латеритная зона 454, 455, 496, 532, 533
Латеритный тип почвообразования 457
Легкая суглинистая почва 47
Легкий суглинистый подзол 44
Легкорастворимые соединения 82
— соли 89, 153, 156, 453, 463—465, 477, 478
Легкорастворимый гумус 44
Лесные колки 131
— почвы 419
Лесные суглинки 58, 60
Лёссовидная глина 32
Лёсс(ы) 75, 196, 225, 226, 246
Лизиметры 5, 544
Лизиметрические исследования 544
Лимонная кислота 34
Лимоннокислый калий 416
Лимоннокислые вытяжки (см. вытяжки)
Литий поглощенный 109—111, 423, 461, 529, 530
— хлористый 196, 197
Люцерна 237

Магнезиальные соли 532, 533, 550, 552
— солончаки 532, 533
— удобрения 550
Магниевые соли 549
— солончаки 463
Магний 10, 75, 104, 121, 124, 125, 132, 139, 140, 168, 179, 181, 426, 432, 434—437, 450, 454—457, 461, 463, 465, 485, 486, 511, 515, 517—520, 522, 529, 530, 532—535, 537—542, 547, 549, 554—557
— гуматный 118
— обменный 395, 549, 550
— окись 112
— основания 103
— поглощенный 108, 111, 112—115, 117, 118, 127—128
— углекислый 552
— хлористый 423
— цеолитный 118—122
Макиевское опытное поле, его почвы 195, 204—205, 214, 216—217, 222, 225, 227, 232
Макрокристаллы 404, 432
Макроструктура 248, 255—256
Макроструктурные элементы 172, 178
Макрогетерогенная система 50
Малахитовая зелень 96
Марганец 11, 432, 494, 497, 532—533, 537, 547, 549
— перекись 431
Марганцевокислый калий 147
Материнские породы 131, 491
Масса растворителя 52, 53
Медь 432, 547, 549
Медленная коагуляция 422
Межагрегатные пространства 528
Мел 70, 536
Мелиорация 394—397
— солонцов
— кислых (оподзоленных) почв 395
— почв 542
— солонцеватых почв 543
— щелочных (солонцов) 395
Мелкая пыль 483, 485, 486
— фракция 485, 507, 510, 513, 514
Мелкие комочки 514
— частицы 504, 505, 507, 510, 513
Мелкозернистые почвы 405
Мелкокомковатая структура почвы 182
Мелкоореховатая структура 67
Мертвое органическое вещество 402, 406
Метакремневая кислота 456, 457
Металл(ы) щелочноземельные 510
— щелочные 510
Металлические ионы 51
— катионы 424, 447—452, 454, 462
— поглощенные катионы 453
Металлоиды 372
Метил-виолет 96, 104, 106, 503
— поглощение его 105
— кристалл, поглощание его 104, 105
— оранж 170
— синий 106
Метод Кнопа 367
Методы анализа водной вытяжки 189—190
— выделения и учета коллоидальных веществ 95, 96
— дисперсионные (получения коллоидов) 197
— изучения роли минерального и органического комплексов 537
— конденсационные (получения коллоидов) 197
— — почвенного поглощающего комплекса 537
— мелиорации (солонцов) 395
— определения гумуса 361
— — отдельных элементов гумуса 362
— — поглощенных оснований вытеснением их из почвы водородным ионом воды 539
поглощения красок 96, 107
— — — почвами 105
— получения почвенного раствора 5
Методика исследования почвенного поглощающего комплекса 537
Механическая поглотительная способность почв 403—406, 527
— примесь 543
— смесь 492
— — гелей 100
— — — кремнекислоты 492
— фракция суглинистой почвы 503
Механические свойств 465
— суспензии из кремнекислоты, окиси железа, глины и т. д. 52, 53
— — почв 61
— фракции почвы 180, 407, 480, 481, 485, 497, 503—508, 511
— элементы 140, 172, 502, 504—507, 524, 525
— — почвы 404, 408, 426, 502; 504, 505, 511, 513, 537
Механический анализ 483, 502, 504, 505, 511, 513, 537
— — илистой фракции 513
— — почвы 112, 113, 180, 182,
— — ила 513
— — илистой фракции почвы 112, 113, 180, 182
— — неколлоидальной части почвы 446

— — почвы 124—126, 180, 183, 404, 406—409, 511
— — поглощающего комплекса 508, 528, 546
Механическое выветривание материнской породы и почвы 491
Миграция электрическая 418
Микроагрегаты 504, 505, 524, 525, 528, 530, 538
Микробиологический режим почвы 395
Микробы 421, 526
Микродисперсные системы 201
Микрокристаллы 172, 404, 432, 486
Микроорганизмы 146, 406, 519, 526, 527, 545, 546
— восстанавливающие 62, 63
Микрорельеф 165
— влияние его на свойства почвы 194, 195, 214—217
Микроструктура 140, 178, 517, 518
Микроструктурные агрегаты 140
— отдельности 509, 514
— элементы 139, 172, 414, 547
— — почвы 140, 504, 505, 509
Микраультракристаллики 172
Минерал(ы) 402, 486, 494, 498
— поглощающего комплекса 498
— продукты выветривания 10, 14, 15
— растворимость 10, 11, 12
— цеолитные 436
Минерализация гумуса окислением перекисью водорода 367
— органического азота 238
— — — в почвах майского и клеверного севооборотов 244, 245
Минеральная(ые) кислота(ы) 40, 41
— коллоидальная часть почвы 406
— часть почвенного поглощающего комплекса 139, 148, 427, 437, 481, 488, 491, 519, 531, 547
— — почвы 42, 147, 404, 436, 526, 530
Минеральная часть почвы в солонцах 86, 87, 136, 137
Минеральное вещество 56, 132, 133, 136—138, 163, 401, 406, 465, 482, 540, 545
— — почвы 34—36, 89
— — солонца (не содержащего углесолей кальция и магния) 133, 134
— водорастворимые вещества 133, 134
— гели 82
— золи 83
— коллоиды 56, 59, 383, 393, 490
— коллоидальные вещества 56
— комплексы 481
— соединения 38, 494, 540
— — азота в почве 545
— — водорастворимые 34—36
— — извлекаемые водой 33
Минеральный остаток 133, 134, 136, 137
— поглощающий комплекс 130, 139, 146, 446, 481, 494, 496, 526
— — — на карбонатных солонцеватых почвах 165
— — — почвы 380 446, 481, 491, 492, 494, 496, 497, 526, 534, 535
Мицелла(ы) 502
— коллоидальная 398, 399
Мокрые солонцы см. солонцы
Молекула(ы) 403, 409, 411, 415, 416, 457, 480, 486, 494—496, 500, 501
— воды 453
— кремневой кислоты 456, 457
— полевого шпата 494, 495
— соли 416, 457
Молекулярная адсорбция 417
— дисперсность 109, 140
— сила притяжения 515
Молекулярное притяжение 177, 405, 421, 508
— раздробление 508
— распыление 520
Молекулярные растворы 480
Молибденовый способ определения фосфорной кислоты 34
Монтмориллонит 395, 486, 498
Морфологически деградированный солонец 145
Морфологические признаки осолодения 153
Мука костяная 43

Набухание почвы 100, 101, 144, 416
— почвенных коллоидов 418
Набухающая способность 102
Наибольшая гигроскопичность коллоидальной фракции почвы 482, 483, 490, 491
устойчивость коллоидальной части почвы 532, 533
Наименьшая устойчивость коллоидальной части почвы 532, 533
Насыщение натрием 175, 111, 476, 483, 485, 489, 504, 505, 506, 538
полное 42
почвы барием 504—506
водородным ионом 111
— чернозема катионами 519
— — основаниями 75
Насыщенное основаниями минеральное коллоидальное вещество почвы 42
Насыщенность почвы катионами 44, 517, 518
Насыщенный натрием гумат 75

— основаниями поглощающий комплекс 147
— раствор 442
Натр едкий 144, 178, 425
Натриевая селитра 129
Натриево-кальциевая почва (солончак) 463, 477
Натриевый солончак 140, 174, 175, 178, 424, 437, 463, 465, 469, 470, 536
Натрий 11, 62, 63, 74—76, 78—82, 84, 85, 100, 103, 104, 117—121, 123, 124, 125, 127, 128, 135—140, 144—146, 408, 414, 415, 416, 432, 447, 461, 463, 467—471, 476, 478, 485, 509—515, 529, 530, 534—539, 547, 549, 550, 557
— валовой 160
— водной вытяжки 478
— гуматный 117, 129
— двууглекислый (см. двууглекислый натрий)
— ион 62, 63, 74, 76, 78, 82, 84, 85, 467, 468
— коллоид 418
— окись 112
— поглощенный 109, 113, 114, 117, 118, 124—129, 140, 179, 182, 426, 543
— почвенных силикатов и гуматов 74, 75
— сернокислый (сульфат) 135, 178, 414, 415, 469, 474, 475, 477, 557
— соли (растворимые) 68, 160, 167, 178, 463, 467, 469—471, 473, 476, 532, 533
— углекислый 127, 128, 140
— уксуснокислый 418
— фосфорнокислый, 47, 48, 49
— хлористый хлорид 38—41, 43, 44, 51, 82, 111—113, 118, 123, 124, 178, 363, 377, 381, 382, 369—471, 474, 475, 477
— цеолитный 117, 119—122, 127, 128
— щавелевокислый 418
— щелочных и органических веществ 89
Натровый силикат 19
Натронная селитра 61
Натронные силикаты 74, 78
— соединения органического вещества почвы 84
— минеральной части почвы 84
— — цеолитообразных веществ почвы 84
— соли (растворы) 70, 71, 72, 74, 85
— цеолиты и гуматы 78, 86, 87
Натяжение поверхностное (воды) 403, 407—412, 419, 420
Нейтрализатор кислотности почв 395
Нейтрализация водородного иона почвы 554
— почвы 555
— свободных кислот 108
Нейтральная среда 40, 41
— точка 114, 554
Нейтральные водные вытяжки из почв 40, 41
— почвы 39, 40, 43
— растворы (солей) 39, 40, 43, 49, 451
— соли растворимые 39, 40, 144, 417, 446, 448, 449, 450
— электролиты 425
Некапиллярные пространства (ходы) 243, 244, 245, 248, 253—256
Неколлоидальная часть почвы 509
Неколлоидальные вещества 95
— механические элементы 509
Ненасыщенность 456, 457
— основаниями минеральной части почв 42
— почв основаниями 42—44
Ненасыщенные органические вещества 40—42
— почвы 40—42
Необменные катионы 486, 547
Необменный калий 549
— кальций 486, 488, 490, 496, 547, 549
— магний 486, 488, 547, 549
Необратимая коагуляция 483
Необратимые коллоиды 59
Неоднородность почвенного раствора 414
Неорганические коллоиды 484
— суспензоиды 50
Непосредственное определение общей емкости поглощения 540, 545
Несолонцеватые почвы 58, 476, 486
— — днепровского ледникового языка 161
— и незасоленные суглинистые тучные черноземы (см. черноземы) 132, 133, 134, 138, 141, 142
— черноземы 149
Несолонцеватый тип почвы 132
Неустойчивость почвенного поглощающего комплекса 534, 535
Нецеолитная часть почвы 537
Никель (катион) 432, 547, 549
Нитратный азот (количество) 21—27
Нитраты II, 26, 27, 414, 432, 544
— изменение в содержании 25—27
— накопление 26
— определение 23, 24, 26
Нитрификация аммиачных солей 564
— изменение 24
— процессы 27
— скорость 25
Нитрифицирующие бактерии 545
Нормальная сода 62—66, 71—74
Нормальные дозы извести 552

— карбонаты (калия, натрия) 69, 70, 85‘ 163, 425
— — щелочных металлов 425
— растворы 44—47, 421
— — хлоридов (хлористого калия) 461
— черноземы см. черноземы 40, 41, 75, 132—134, 476, 509

Обломки кристаллических силикатов 93, 94
Обмен взаимный 43, 441
— гуматных оснований 437
— ионов 500, 501
— катионами 369, 500, 501
— основаниями 498
— почвенных поглощенных катионов 450
— цеолитных оснований 437
Обменная адсорбция 403
— емкость почвы 385, 507, 547
— реакция почвы 86, 87, 142, 143, 362, 441
— поглотительная способность почв 404, 418, 434, 435, 447, 454, 466, 468, 470, 526
Обменная способность 491, 500, 501, 502, 506, 507, 526
— — гуматной части почвы 111
— — механических (фракций) элементов почвы 502
— — почвы 500—502, 506, 524, 525
— — фракции очищенной 483, 502, 506
Обменное поглощение 415
— — состояние иона магния 552
— — катионов 552
Обменные катионы 395, 396, 397, 436, 438, 439, 445, 446, 450, 451, 486—489, 522, 531, 557
— — бентонита 486
— — щелочноземельные 532
Обменные основания (почвы) 383, 442, 446, 450
Обменный алюминий 451
— водород 451, 520, 521, 531, 547, 550, 552—555, 554
— калий 488, 549
— кальций 395, 452, 485—488, 490, 496, 521, 528, 531—533, 547, 550, 552—555
— магний 395, 442, 485—488, 521, 528, 532, 533, 547—550, 552—557
— натрий 395, 488, 496, 497, 521, 557
Обработка почвы водой, насыщенной углекислотой 102, 103
— — дистиллированной водой 102
— — серной кислотой 95
— — соляной кислотой 95, 100
— — хлористым натром 97
— — щелочью 95, 97
Обогащение почв аморфной кремнекислотой 160
Образование соды в почве 61, 75, 76, 80, 81, 84, 86, 87, 467—479
Общая емкость обмена 530, 540
— сумма минеральных веществ 536
— щелочность 69, 70, 74, 86, 87, 96
— — щелочных карбонатов 75
Общий сухой остаток 133, 134
Обыкновенный чернозем (см. чернозем)
Однозначные катионы 435, 460, 461, 530, 551
Однокальциевый фосфат 37, 44
Окислительные и восстановительные процессы в почве 240, 241, 246
Окисляющиеся вещества 401
Окись (окислы) алюминия 60, 135, 140, 144, 155, 162, 428, 456, 457, 492, 495, 537
— — железа 60, 135, 140, 144, 155, 162, 428, 456, 457, 492
— — калия 132
— — кальция 96, 445
— — кремния 135, 140, 144, 155, 450, 457
— — магния 60, 363
— — натрия 75, 76
Окклюдирование (осадками) 431
Октиловый спирт 412
Опалесценция 515
Оподзоленность (оподзоливание) почв 453, 489, 496, 551, 554
Определение в почве поглощенного водорода 539
— — поглощенных (обменных) оснований 539
— ненасыщенности почвы основаниями 539
— способности почв к гидролитическому расщеплению солей (гидролитическая кислотность) 539
Оптимальная доза извести 555
Органическая коллоидально-распыленная часть почвы 428
— часть почвенного поглощающего комплекса 130, 135, 139, 146, 147, 164, 478, 480, 481, 483, 488, 491, 519, 521, 528, 534—536, 547
— часть почвы 85, 147, 404, 491, 527
Органические азотистые соединения 147
— вещества 34, 35, 38, 42, 51, 59, 62, 63, 71, 72, 74, 77, 78—84, 87, 88, 363, 368, 369, 386, 401, 414, 429, 430, 446, 478, 480, 494, 497, 521, 522, 527, 530, 534, 535
— — карбонатного солонца 144
— — степень разложения 11, 12

— гели 82
— золи 83
— кислоты 51
— коллоидальные вещества почвы 42, 179, 428
— — частицы 428, 483
— коллоиды 56, 59, 100, 101, 142, 143, 483
— основания 409
— остатки растений 526
— соединения почвы 85, 100, 101, 364, 409, 491, 527, 540, 542
— — водорастворимые 34, 36
— — извлекаемые водой 33
— — натрия 87, 88
— — мертвого отпада растительности 491
— — торфяников 39, 40
— суспензоиды 50
— частички 403
Органический комплекс 540, 554
— поглощающий комплекс 446, 481, 491, 495, 519, 527, 530, 532
Органо-минеральные соединения 480
Ортоклаз 385, 457, 458
Ортштейн 60
Ортштейновые образования 60
Ортштейновый горизонт торфянистой почвы 60
Осадки (осадок) 532, 542
— гидрофильных коллоидов 100, 101
— гидрофильные 100, 101
— кристаллические 50
— порошкообразные 50
— солей 404, 431
— твердые 50
Осаждающая способность катионов 422, 425, 510, 519, 522
Осаждающая сила катионов 203
Осаждающий анион 543
Осаждение гумуса 497
— полное 428
Основание(я) 37—44, 49, 54, 75, 80—83, 89, 95, 100, 101, 103, 106, 403, 435—437, 444, 462, 471, 492, 499, 500, 501, 537, 539
— вытеснение их 103
— ненасыщенность ими 91
— неорганические 409
— обменные 537, 538
— поглощенные 437, 444, 462, 506, 537, 539
— скорость обмена на основания соляных растворов 91
— соединения их в почвенных веществах 91
— цеолитные и гуматные 436, 437
Основные свойства почвы 187
Осолодевающие горизонты 148, 153
— — солонцов 130
Осолодевающие почвы 148
— солонцы 146—159, 160
— солонцеватые почвы 131, 169, 183
Осолодение почвы 145, 148, 160, 162, 163, 178, 183, 492, 536
— солонцеватых почв 131
— солонцов 160, 396, 397, 428, 536
— — бескарбонатных 146
— — карбонатных 146, 160
Осолонцевание 465
Остаток минеральный 133, 134, 529
— прокаленный 60, 529
— сухой 60, 529
Отбросы рудные 396, 397
Отзывчивость почв на фосфорит 38, 44, 47, 48
Отмучивание 483, 504—506, 511
— илистой фракции 511
— коллоидальной части 483
— почвы 538
Отношение кальция к магнию 554—557
— почвы к воде 529
— растений к почве 547
Отрицательная адсорбция 410—419
— — анионов почвенными коллоидами 418
— — едкого калия 417
— физическая поглотительная способность 412, 420
Отрицательно заряженные коллоидальные системы 425
Отрицательное поглощение (физическое) 418, 419
Отрицательные коллоиды 421, 422, 424, 433
Отрицательный анион почвенных коллоидальных частиц 425
— — — коллоидов 510

Пар вико-овсяный 255, 256
— клеверный 237, 253
Парциальное давление 11, 12, 14—16
Первичные агрегаты 510
— коллоидальные частички 480, 509, 510, 528
— механические элементы 510
— подзолистые почвы 147
— подзолы 145
— процессы оподзоливания 145
— частички 509, 510, 514
Первоначальная почва 482, 483, 492, 552
Первый минимум в питательных веществах 234—236, 239—241, 253, 257, 259
Перегнойно-карбонатные почвы 369
Перекись водорода 74, 80, 81, 361, 365, 366, 368, 370, 377, 379—382

— марганца 431
Песчаная фракция 181
Песчанистый чернозем 42
Песчаный подзол 44
Песчаные культуры 222
Питательная среда 554
Питательные анионы 544
— вещества 545, 547, 554
— элементы 545
Питательный режим почвы 395, 547
Пластинчатая структура 179
Пленочная влага 413
Плодородие естественное 182
— носовских черноземов 256, 257
— почвы 172, 180, 547, 559
Плотное сложение почвы 405
Поваренная соль 5, 7, 86, 87
Поверхностная энергия 52, 53, 403, 407, 408, 410, 414, 420, 500, 501
— — дисперсных частиц 108
Поверхностно-активное вещество 412
Поверхностное натяжение 200, 202
— — воды 409, 410, 412
— — в почвенных системах 499
— — дисперсионной среды 408, 410
Поверхность коллоидов 202
— механических элементов почвы 447,
— почвенных частиц 403, 408, 410, 500, 501
— твердой фазы 500, 501
Поглотительная способность почв 38—40, 42, 83, 91, 100, 395, 400, 402, 403, 424, 425, 434, 436, 485, 492, 498—501, 503, 507, 521, 523, 543, 545, 546
— — биологическая (см. биологическая поглотительная способность)
— — обменная 418
— — определение 107
— — физико-химическая (см. поглотительная способность почвы)
— — химическая (см. химическая поглотительная способность почв)
Поглощаемые вещества 89, 93, 94, 543
— катионы 435, 476
— основания 403, 449, 460
Поглощаемые вещества почвы 38, 42, 87, 88, 100, 102, 107
— — — насыщенной натрием 83
Поглощающий комплекс 158, 159, 395—397, 441, 444, 445, 449, 450, 452—457, 460, 463, 466—470, 490—492, 496, 527, 528, 532—537, 539, 542, 546, 547, 552—555
— — бескарбонатных солонцов 146
— — минеральный 130
— — насыщенный кальцием 523
— — — натрием 514, 523
— — — основаниями 537
— — не насыщенный основаниями 453, 454, 537
— — органический 130
— — почвы почвенный поглощающий комплекс 138—142, 436, 437, 441, 444, 445—452, 462, 466, 467, 469, 470, 479—481, 491, 495, 496, 508, 511, 526—528, 532—535, 538, 539, 546, 547, 557
Поглощение 89, 90, 93, 94, 107, 499
— гелем 89, 90
— калия 17, 503
— катионов 111, 511
— коллоидальными веществами почв 38
— коллоидами 19
— красок почвами для определения количества коллоидов 96
— метил-виолет 503
— обменное 404
— оснований 44
— поверхностное 93, 94
— питательных элементов 546
— — — при выпадении осадков 431
— сильных электролитов 82
— сульфатов 414
— твердыми почвенными соединениями 19
— физическое (почвой) 91, 405, 413, 410, 431
— фосфорной кислоты 17
— чистыми поглотителями 90
— электролитов 433
Поглощенное вещество 89, 403
Поглощенные катионы 123—125, 179, 189, 190, 207—209, 435, 437, 445—451, 454, 455, 457, 462—467, 502, 513, 514, 519, 523—527, 532—535, 539, 540
— основания 100, 435, 437, 445—451, 454, 455, 457—463, 466, 467, 502, 506, 510, 522, 527, 532—535, 539
— — ненасыщенных почв 463
— — в поглощенном комплексе 456, 457
Поглощенный алюминий 451
— аммиак 545
— аммоний 445, 450, 460, 530
— барий 461
— водород 519, 520, 532, 533
— двузначный катион магния 530
— калий 446, 447, 463, 466, 503, 530
— кальций и магний 61, 132, 140, 426, 438, 439, 446, 463, 465, 467, 476, 504, 505, 506, 509, 511, 515—518, 523, 530, 532, 533, 539
— магний 132, 140, 369, 426, 438, 439, 446, 463, 465, 467
— натрий 131, 139, 142, 143, 157, 426, 437, 447, 463—472, 476, 497, 511, 513, 515, 521, 530, 532—535

Подвижные соединения 527
Подзол 44, 58, 168, 414, 502, 537
Подзолы вторичные 126, 145—147, 228, 229
— первичные 228, 229
Подзолистая зона 113, 114, 127, 128, 145, 146, 157, 168, 179, 421, 453, 454, 455, 490, 532, 533
Подзолистый тип почвообразования 457
Подзоловидные деградированные солонцы 146
Подзолообразная(ые) почва(ы) 130, 147
Подзолообразование 130, 147
Подзолообразовательный процесс 157
Подколлоидальная фракция 408, 483, 485, 507, 547
Подпахотный слой почвы 485, 563
Подпочва 32, 42, 492
Подпочвенный горизонт 466
Полевой шпат 498
Поливные воды 6
Полная влагоемкость 6, 415, 467
Полное выщелачивание 164
— насыщение почвы кальцием 529
— осолодение солонца 164
— удобрение 551
Полностью насыщенная основаниями почва 554
Положительная адсорбция 410—413, 415—419, 431
— физическая адсорбция 412
— — поглотительная способность почвы 410
Положительное поглощение 419
— физическое поглощение 412, 419
Положительный ион 80, 81
Полуобратимые гели 80, 81
— коллоиды 84
Полуторные окислы 132, 135, 136, 137, 138, 146, 160, 161, 485, 490, 494, 527, 529—532
Понижение дисперсности илистой фракции естественных почв 127, 128
— плодородия почвы 129
Порозность капиллярная 181, 182, 243—245
— некапиллярная 181, 244, 245, 248, 253, 256, 257
— общая 244, 245, 257, 258
Последовательная водная вытяжка 66—68, 70, 82, 86, 87, 468
Послойное распределение гумуса 161
Послойный состав почвенного поглощенного комплекса 497
Постоянные солонцы 156
Потеря азота 544
— поглощающего комплекса 183
Почва(ы) бесструктурная(ые) 172, 179
— взаимодействие между нею и раствором 90
— вторичная 145
— выщелоченная 42
— выщелачивание водой 102
— в состоянии насыщения 449
— глинистая 40, 41
— динамика 402
— засоленная 126
— валовой состав минеральной части 189, 190
— известковая 43
— карбонатные 161, 165
— культурное состояние 16
— легкая суглинистая 47
— легкорастворимые соединения 29, 30
— лесные 161
— лишенные гумуса 532
— насыщенная аммонием 109, 118, 447, 449, 521, 523
— — барием 460, 517, 518
— — водородом 122, 520, 529, 531, 551, 552
— — железом 119, 120
— — железом и алюминием 517, 518
— — калием 79, 80, 106, 118, 447, 521, 523
— — кальцием 122, 123, 124, 125, 126, 461, 510, 513—515, 547, 549
— — кальцием и магнием 126—128, 139, 456—458
— — литием 530
— — магнием 122, 123, 124, 125, 126
— — натриевыми солями 124, 125
— — натрием 83, 107, 112—120, 136, 140, 447, 513, 521, 523—525, 530
— — основаниями 90, 104, 122—125, 435
— — щелочными металлами 530
— невыщелоченная 42
— нейтральная бедная гумусом 42
— ненасыщенная аммонием 109
— — калием 109
— — литием 109
— — металлами 530
— — натрием 62, 63, 77, 83, 509, 510, 513—515, 521
— — основаниями 61, 90, 108—111, 126, 129, 434, 435, 437, 446, 449, 452—455, 457, 458, 462—465, 500, 501, 539
— обедненная известью 102
— обменные реакции в ней 89
— оподзоленная 109
— ортштейн 57
— осолодевшая 131

— первоначальная 529, 530, 549, 550, 557
— подзоловидная 146, 151
— полностью насыщенная водородом 550—555
— черноземная 43
— черноземного типа 490
— удельный вес 243
Почва(ы) девственные 193
— днепровского ледникового языка 236, 249, 250
— карбонатные 161, 165
— культурные 16
— латеритные 57
— лесные 161
— механический состав 13—16
— минералогический анализ 16
— минеральные 90
— набухаемость 117
— несолонцеватые 130, 131, 135, 136, 139—142, 160
— нормальные 463, 469, 470
— механический состав 13—16
— минералогический и органический состав 16
— несолонцеватые 130, 131, 135, 136, 139—142, 160
— нормальные 463, 469, 470
— Носовской опытной станции, их особенности 190, 191, 204, 205, 234—236, 239, 240, 241, 244—258
— — — — валовой состав 191, 192
— — — — механический состав 191, 192
— подзолистого типа 225, 226
— подзолообразование, их образование из солонцов 227
— песчаные 31
— поглотительная способность 13, 17, 19, 21, 22
— подзолистые 60, 126, 127, 128, 130, 145, 146, 157—160, 179, 180, 447, 452, 488, 490, 496, 497
— подзолистого типа почвообразования 157, 490, 537
— сильно оподзоленные 168
— сильно солонцеватые 162, 164, 166
— с малой солонцеватостью 473
— содержащие поглощенный водород 122
— солонцеватого типа 150, 225—227
— солонцеватого типа почвообразования 466
— степень плодородия 28, 29
— соли легко-, средне- и труднорастворимые в воде 189, 190
— солонцеватые 195
— солончаковые 209—216, 225, 226, 466
— структурные 172
— структурность 108
— темно-каштановые 57
— тундровой зоны 126
— «южные подзолистые» 130
Почвенная влага (вода) 140, 142, 143, 170, 171, 177, 179, 401, 403, 465
— динамика 401, 402
— зона 466, 532, 533
— классификация 398, 399
— механическая фракция 507
— микрофлора 545
— система 16, 21, 22, 401, 403, 407—409
— структура 172
— суспензия 423
— фракция 508
— структурообразование 565
Почвенные агрегаты 510, 517, 518
— алюмосиликаты 119, 120
— гели 61, 86, 87
— гуматы 77, 139
— коллоиды 52, 53
— микроагрегаты 511—514
— минеральные соединения 421
— механические элементы 447
— обменные катионы 436
— органические вещества 491
— основания 435, 437, 440, 441, 444, 450, 454, 455, 539
— поглощенные катионы 436, 447, 462, 540
— процессы 180, 531, 538, 545
— растворы осолодевших почв 148
— силикаты 75, 80—82
— соединения 447, 450, 477, 480
— — растворимость их 10—16
— — аммония 435
— — кальция 435
— — магния 435
— цеолиты 84, 100
Почвенный воздух, 14, 15, 35, 171, 172, 469, 470
— комплекс, насыщенный натрием 123, 124
— мелкозем 181
— минеральный поглощающий комплекс 135
— поглощающий комплекс (см. почвенный поглощающий комплекс) 189, 190, 207—211, 214, 218—225, 227, 229, 232, 248, 251, 252, 256, 257
— — — насыщенный кальцием 177
— — — — натрием 173
— — — алюмосиликатная часть его 227—229, 232
— — — величина 207, 208

— — — гуматная часть 225—229
— — — органическая часть 225, 227, 258, 259
Почвенный раствор 5—18, 20—23, 27, 36, 52, 53, 54, 56, 58, 61, 62, 63, 77, 85—88, 132, 140, 148, 170, 171, 174, 175, 203, 207—209, 210, 211, 213, 214, 218—221, 251, 440, 441, 454, 455, 462—468, 476, 480, 481, 509, 510, 532, 533, 536, 538, 542, 543, 545, 547, 552—557
Почвенный раствор, выделение 16
— — газообразная фаза (почвенная атмосфера) 11, 12
— — жидкая фаза 11
— — изменение концентрации 14, 15
— — качественный и количественный состав 16
— — минеральные составные части 28, 29
— — равновесие в нем 11—15
— — состав 14—17, 38
— — реакция 20
— — твердая фаза 11
— — теория 18
Почвообразование 160, 453
Почвообразовательный процесс 463
— — влажных областей 534—535
Природные поглощенные катионы 450
— — основания 449
Проветривание почвы 257, 258
Продукты выветривания силикатов 95
— — почвы 85, 466, 494
— замещение 83
— обмена 467
— присоединения 83, 100, 101, 103, 104
— распада 456, 457, 481
— — алюмосиликатного ядра 146
Производительность весовой единицы почвы 256, 257
Происхождение соды 62, 63
Прокаливание почв 364
Простые гидраты окисей кремния, алюминия и железа 494
Простые силикаты 456, 457
Прочность связи в алюмосиликатном ядре 124, 125
— структуры почв 172, 173, 177
— поглощающего комплекса 526
Процесс выветривания породы 500, 501
— — в солончаках 85
— вытеснение кальция 444
— выщелачивание 521
— деградация 454—457
— — несолонцеватых черноземов 147
— — солонцов 145
— насыщения почвы натрием 514
— образование почв 453
— — соды в почве 78, 85
— оподзоливания 130, 145, 148, 158, 454—457, 534—536
— осолодения 130, 131, 138, 158, 164, 170, 488
— поглощения 89
— — водородного иона 500, 501
— подзолообразования 147
— почвообразования 85, 454, 527
— разложения гумуса 369
— разрушения почвы 456, 457
— рассолонцевания солонца 146
Пшеница 237

Равновесие в пограничном слое 13
— катионов 403
— — с обменными катионами почвы и раствора 441
— при растворении 13
Разцробление 486—489, 494, 500, 501, 514
— истинных механических элементов почвы 514
Раздробленная фракция (илистая) 489
Разлагающее (разрушающее) действие воды 74, 130, 131, 135, 138—142, 145, 476, 478, 496, 528, 530, 531, 534, 535, 536
Разложение 477, 495, 527
— волнорастворимого гумуса 146
— минеральной части почвенного поглощающего комплекса 528
— поглощающего комплекса 527
— почвенных соединений водой 477
Разрушающий эффект катиона (насыщающего почву) 531
Разрушение алюмосиликатной части 130
— водой 497
— — почвенного поглощающего комплекса 160, 180, 490, 496, 526, 527, 530, 536
Распад алюмосиликатного ядра 148, 496
— сложных соединений поглощающего комплекса 527
— — силикатов 495
— — органических соединений 527
Распыление агрегатов илистой фракции 126
— — с помощью насыщения натрием 506
— водой минеральной части поглощающего комплекса 519, 520
Распыляющее действие водородного иона 532, 533
— — воды 135, 140, 511, 514, 517—520
— — магния 532, 533
— — натрия (поглощенного) 141, 142, 504, 505, 532, 533, 536

— — поглощенных катионов калия и аммония 521
— — органической части поглощающего комплекса 519, 520, 528
Распыленное состояние коллоидальной части почвы 536
Рассоление почвы 465, 467
— солончака 212
Рассолившиеся, осолодевшие карбонатные солонцеватые почвы 161
Рассолонцевание 146, 153, 160, 162
— карбонатных солонцов 162
— солонцов 428
Рассолонцованная солодь 135
Рассолонцованный солонец 488
Раствор(ы) 424, 434, 435, 437, 438—442, 498, 539
— аммонийных солей 440
— коллоидальный (коллоидный) 424
— нейтральных солей 40, 41, 43, 407, 449
— пересыщенный 13
— почвенный 402, 404, 407, 410, 412, 413, 414, 419, 423, 424, 428, 441
— соды 537, 542
— соли (солей, солевой) 90, 412, 416, 438, 439, 447, 450, 457, 458, 460, 528, 542
— хлористого аммония 98, 99, 434, 437, 441, 442, 516
— — бария 516
— — калия 516
— — кальция 516
— — магния 516
— — натрия 83, 98, 99, 102, 442, 516
Растворение 477, 500, 501, 523
— гуматной части поглощающего комплекса солонца 146
— огранического вещества 523
Растворимая фосфорная кислота 410
Растворимость 13, 474, 475, 494
— гумуса 109
— солей кальция 363
— углекислого кальция 472, 552
— щелочноземельных карбонатов 466
Растворимые азотные соединения 26
— гуматы 386
— натронные соли 85
— органические коллоидальные вещества 59
— продукты почвенных реакций 401
— соли 135, 136, 148, 155, 406
— — простые 465, 536
— — щелочных металлов 98, 99
Растворимый гумус 162
Растворяющая способность корней 37
Растворяющее действие воды 139, 141, 142, 528
Растения, нечувствительные к избытку извести 554
— слабой усвояющей способности 47
— среднечувствительные к избытку извести 554
— средней усвояющей способности 47
— чувствительные к избытку извести 554
Растительные остатки 431
Расщепление солей гидролитическое 403
Реакции физико-химические 401
— химические 401
Реакционная способность 200, 207, 247, 480, 481, 499, 500, 501, 527, 542
— — между твердой и жидкой фазой почвы 108
Реакция (взаимного) обмена 68, 69, 91—93, 207, 437—439, 441, 444, 447—450, 469, 470, 476, 479, 480, 498, 499, 527, 540
— водной вытяжки 170
— вытеснения 92, 93
— двойного обмена катионов 450
— дисперсной среды 421
— — — катионами 450, 451
— — — между растворимыми веществами и почвенной массой 441
— между грубодисперсными частичками почвы 108
— нейтральная 418
— обменная 86, 87, 479
— обратимая 444
— — — основаниями 83, 90, 447, 479
— поглощенного катиона 527
— почвенного раствора 547
— слабощелочная 74
— среды 21, 22
— щелочная 418
Режим почвы микробиологический 395
— — питательный 395
— — санитарный 395
Рентгеновские лучи 402
Роданистый аммоний 132
Роль хлористого и сернокислого натрия в образовании соды в щелочных солонцах 77
Рубидий 423, 461

Салициловокислый калий 416
Санитарный режим (свойства) почвы 172, 395
Сахар 409
Свертывание 497, 532
— золей почвенного раствора под влиянием мороза 58
— коллоидальных веществ 59
— неорганических веществ 59
— органических веществ 59

— почвенных коллоидных частиц 425
Свертывающая сила (катиона) 123—125, 423, 425
— — натрия 510
— способность 424
Свертывающее влияние катиона натрия 527
Свертывающее действие электролитов 173
Свободная соляная кислота 107, 451
— щелочь 51, 52, 447
Свободные алюмосиликатные и гумусовые кислоты 454, 455
— органические кислоты 376, 377
— кислоты (почвенного раствора) 38—40, 447, 454, 479
Свойства естественного почвенного поглощающего комплекеа 449
— искусственно измененного комплекса 449
— минеральной части почвы 362
— почвы (физические) 43, 531
Связанная с почвой вода 515
Связанность илистой фракции 524, 525
Связь оснований абсорбционная 89
— — физико-химическая 89
— — физическая 89
— — химическая 89
Селитра 40—41, 43, 544
Сера гумуса 377
— валовое содержание в черноземе 194
— содержание в растениях 194
— методы определения 194
Серная кислота 31, 62, 63, 66, 76, 78, 132, 370, 372, 415, 424, 473, 478
Сернистый кальций 542
— натрий 62, 63
Сернокислые соли 372
Сернокислый барий 432, 434
— калий 416
— кальций 68, 543
— натрий 61—64, 66—74, 77, 78, 83—88, 124, 125, 178, 414, 415, 467—471, 543
— магний 543, 547
— цинк 436
Сероводород 62, 63
Сила коагулирующая 423
— поверхностного натяжения 499
— свертывающая (свертывающего действия) 423, 425
Силикатная часть почвы 428
— — — растворение 225, 226, 249, 250
Силикаты (силикат) 10, 19, 33, 59, 62, 63, 84, 149, 454, 456, 457, 486
— и гуматы кальция 83
— калия 80, 81
— — натрия 74—76, 78—81
— каолинизированный 95
— почвы 80, 81
— продукты выветривания 19
— растворимость 11—13
Сильно выщелоченные почвы 42
— — черноземы 42
— кислая почва 552—554
— оподзоленная почва 489
— солонцеватая почва 162, 166
Сильные кислоты (минеральные) 43, 451
Синтез 494, 502
— коллоидального вещества 495
Синтетические новообразования комплекса 496
Синтетический калий-цеолит 385
— поглощенный комплекс 494
Система дисперсная 407, 408, 410
— почва + вода 408
— почва, насыщенная натрием + углекислый кальций 83
— почва + почвенный раствор 403, 408
— почва + раствор 410
— почвенная 407—409
— чернозем + хлористый натрий 83
Скорость инверсии 452
— переноса коллоидальных частиц 418
— поглощения 440
— реакция обмена 91, 94, 499
Слабо деградированный чернозем 454, 455
— солонцеватая почва 162, 166
— солонцеватый чернозем 161
— щелочная реакция 74
Слабые кислоты 403, 453
Сложение почвы 404
— минеральные соединения 454, 455
— силикаты 457, 458, 495
— соединения поглощающего комплекса 527
Смеси гелей и гидроокисей алюминия и кремния 100
— электролитов и солей 449
Смешанный солончак 424
Сода двууглекислая 222, 231, 232, 249, 250, 256, 257
— нормальная 222, 232
— раствор 61—82, 84—89, 133, 134, 136, 137, 140—144, 148, 425, 426, 471, 473—476, 479, 521—523, 543
— поглощение ее в почве 71, 72
Содовая вытяжка 100
Соединения абсорбционные 82, 89
— гидроокисей кремния 100
— коллоидального характера 19, 85
— легкорастворимые 32, 33, 35, 36, 476
— органические со щелочными металлами 51
— почвенного поглощающего комплекса 441

Солевой(ые) раствор(ы) 363, 412, 447
Солевые вытяжки 451
— — из почв, не насыщенных основаниями 451
Соленосный грунт 85
Солеобразный характер почвенных соединений 480
Соли 38, 40, 41, 161, 415, 417, 418, 431, 442, 447, 450, 478, 494, 527
— калия 40, 41, 43, 416
— кислые 21, 22 (см. кислые соли)
— кремневых, алюмокремневых и феррикремневых кислот (сложные и простые) 189, 190
— простые 141, 142
— легкорастворимые 141—142, 454—543
— магния 456—457, 463
— малорастворимые 404, 542
— натрия 82, 136, 147, 463—470, 479
— нейтральные 38—40, 417
Солодь(и) 130, 131, 146—148, 151, 153, 159—162, 164, 169, 492, 497, 528
Солонец 195, 210—212, 214—225, 228—230, 248
— бескарбонатный 227, 228—231
— днепровского языка 218
— и солонцовые почвы, образование в них соды 218—222, 225
— карбонатный 228, 229, 232
— Макиевского опытного поля 218, 225, 227—230
— мелиорация 231
— физические свойства 222, 223
— химические свойства 218
Солонцеватость почвы 109, 126—129, 130, 131, 145—147, 165, 166, 168, 169, 178, 183, 425
Солонцеватые почвы 130—137, 139, 141, 142, 144, 145, 147, 159—161, 168, 195, 204, 205, 210—212, 214—227, 230, 232, 234—236, 244, 245, 248, 465—468, 476, 496, 542, 543
— — бескарбонатные 136, 137
— пятна 161
— черноземы 169
— — признаки 225
— — улучшение 230, 236
— — периодические 214
Солонцеватый горизонт 135, 151, 467
— тип почвы 132
Солонцовые почвы 369, 386, 428, 471, 474, 475, 479, 515, 534, 535
Солонцы 42, 62—67, 78, 85—88, 130—135, 136—140, 141—149, 151—156, 160, 161, 164—166, 168, 178, 179, 182, 426, 428, 437, 466, 468, 471, 511, 532, 533, 536, 543, 557
— бескарбонатные 130, 133, 134, 136—140, 141—147, 153, 428, 536
— деградированные 130, 136, 137
— естественные 130, 136, 137, 536
— — карбонатные 136, 137, 138—155, 161, 428, 469—471, 478, 497
— засоленные гипсом 478
— злостные 136, 137, 162, 163
— искусственные 130, 136, 137, 141, 142
— карбонатные 130, 133, 134, 136, 137, 141, 142, 155, 428
— малогумусные 497, 532, 533
— мокрые 66, 67
— слабозасоленные 471
— содержащие углекислый кальций 130
— структурные 42, 59
— черные 85
— чистые 426—428
Соланчак(и) 60, 61, 67, 85—89, 123, 124, 131, 140, 141, 153, 156, 426, 469, 470, 471, 477, 478, 543
— богатые хлористым натрием 67
— засоленный гипсом 478
— кальциевый 424
— натриевый 178, 424
— смешанный 424
— солонец 141, 426, 469—473
— чистые 141, 426, 471
Солончаковые почвы 145, 463, 465, 471, 474, 475
Соляная кислота 40, 41, 52, 53, 59, 75, 104, 118, 123, 124, 379, 387, 388, 409
Солянокислая вытяжка 34, 75, 76, 89, 100, 148
— — горячая 98, 99
Соотношение между кальцием и магнием 438, 439
— — обменными катионами 438, 439
— — органической и минеральной частью 546
Состав обменных катионов 395, 446, 547
— поглощенных катионов почвы 528, 538
— поглощающего комплекса 395, 538, 547
— почвенного раствора 457, 458
Состояние коллоидальное 423
— насыщенности почвы 450
Способ Гильгарда, улучшения солонцеватых почв 543
Способ выщелачивания цеолитной части почвы 95
Способность почв набухать 178
— почв удерживать воду 514
Сравнительное изучение почв 537
Среда дисперсионная 407, 408, 421
— кислая 38—40, 421

— нейтральная 38—40, 421
— щелочная 421
Стабилизатор отрицательных коллоидов 140
Стабилизирующее действие гидроксильного иона 425, 510
Стабилизирующий фактор 202, 203, 422, 428
Стадия засоленности почвенного раствора натриевыми солями 131
Статика почвенной системы (почвы) 401, 402
Степень вязкости 100, 101
Степень гидратации (см. гидратации степень)
— дисперсности 100, 101, 109, 115, 117, 118, 407, 408, 419, 421, 431, 494, 500, 501, 528
— — илистой фракции 126
— — коллоидальных частиц 177
— — почвенных частиц (почвы) 121, 407, 419, 500, 501,
— — твердой фазы 502
— кислотности 43
— клейкости (набухаемости) 100, 101, 109
— коллоидальности (почвы) 100—107, 109, 118, 515
— ненасыщенности (почв) 40, 41, 43—47, 90, 462
— оподзоленности (оподзоливания) 145
— отзывчивости почв на фосфориты 47
— рассолонцевания 167
— растворимости 10
— солонцеватости 167
Стехиометрические отношения 495
Стимулянты 396, 397
Стимулирующие катионы 396, 397
— элементы 396, 397
Столбчатая структура 51
Столбчатый горизонт 59, 133, 134, 153
— — структурных солонцов 59, 60, 62, 63
— солонец (солонцы) 62, 63, 64, 66, 77, 86, 87, 133, 134
Стронций (хлористый) 423, 433, 547, 549
Структура (структурность) зернистая 126
— мелкокомковатая (мелкозернистая) 126, 510
— осолодевших почв 180
— почвы 57, 127, 128, 172—177, 179—183, 511
— солодей 180
Структурные аргегаты 426
— отдельности (почвы) 173, 177, 179, 180, 504, 505, 509
— солонцы 42, 59, 85—87
— элементы (почвы) 153, 172, 178, 404, 508, 510, 517, 518
Суглинистая почва 43, 503
Суглинистый чернозем 47, 48, 68, 100, 101, 136, 138, 504, 505,
Суглинок легкий 182, 183
Сульфат натрия 141, 142, 472, 479
Сульфаты 68, 156, 387, 388, 413, 414, 447, 478, 480, 510, 542
Суперфосфат 236
Суспендированные вещества 406
Суспензия (суспензии) 364, 403, 406, 423, 424, 452
— глинистая (глины) 424, 521
— грубые 402
— почвы (почвенная) 423, 452, 508, 517, 518
Сухой остаток 58, 62—64, 66, 78, 164, 165, 168, 472, 473, 517, 518, 519, 529, 531
— — водной вытяжки 58
— — вытяжки 132
— — общий 133, 134
— — просушенный, прокаленный 56, 64, 66, 135, 164, 165, 167, 168, 529

Твердая фаза (почвы) 171, 172, 174, 175, 395, 401—404, 407, 462, 499, 500, 501, 542, 543
— часть почвы 402, 465
Твердые коллоидально-растворенные частицы 480
Твердый раствор 100, 101
Тела аморфного характера 100, 101
Тело пористое 401, 403
— почвенное 401
Теорема Джиббса 410
Теория происхождения соды в почве 87—89
— равновесия 418
— солонцов 474, 475
Термодинамические условия 451—457
Тип почвы 398, 399
Торф сфагновый 429, 430
Торфяники сфагнумовые 39, 40
Торфянисто-болотная солонцеватая почва 153
Торфянисто-подзолистая почва 457
Торфянисто-подзолисто-глеевая почва 489, 490
Торфянистые почвы 40, 41
Торфянистый горизонт 153
— слой 489
Точка полной нейтрализации 554
Трехзначные катионы 452, 461, 520
Трехкальциевый фосфат 10, 37, 44, 542
— — растворимость 11, 12

Трудно растворимые карбонаты 542
— — соединения 478, 542, 543
— — соли 431, 453, 477, 542, 543
— — удобрения 43
— фосфаты 43, 47
Тук 37, 38
Тучный чернозем (см. чернозем)
Тяжелая суглинистая почва 406

Углекислота 11, 12, 14, 15, 16, 35, 47, 48, 57, 73—76, 84, 139, 142, 143, 165, 369, 452, 454, 465, 468—471, 522, 555
— фактор, ускоряющий естественное рассолонцевание 232
Углекислый кальций 37, 42, 61, 66, 68, 92—94, 132, 138, 141—153, 160, 364, 366, 441, 452—454, 467—472, 476, 478, 479, 497, 498, 509, 523, 531, 536, 537, 542, 543, 549, 552, 555
— магний 75, 78, 86, 87, 132, 141, 142, 453, 454, 532, 533, 542, 543, 552
— метод 442, 446
— натрий 140, 441
Углесоль 16, 68, 71, 72, 447
— калия 418
— кальция 133, 134, 138, 140, 418, 465
— щелочноземельных металлов 133, 134, 140, 423
— кальция и магния, их свертывающее действие на мелкие почвенные частички 249, 250
— — магния, их способность понижать ядовитость вредных растениям соединений 240, 241, 249, 250
Удельная поверхность 52, 53, 408, 499
— — дисперсной фазы 500, 501
Удельный вес почвенных частиц 113, 114
Уксусная кислота 33, 409—411, 539
Уксуснокислые вытяжки 33, 34
Уксуснокислый аммоний 539
— кальций 539
— натрий 418, 539
Ультрамеханическая фракция 108, 113—115
— часть почвы 480
Ультрамеханический анализ 108, 112, 113
— состав почвы 108, 129, 180, 508, 509
— — коллоидальной фракции 407
Ультрамикродисперсные системы 201
Ультрамикрокристаллы 404
Ультрамикроскоп(ия) 174, 175, 544
Ультрамикроскопические кристаллики 123, 124
Ультрафильтрация 54
Ультрафракция 503
Упругость растворения 82, 83
— — натрия 82
— — насыщающего почву натрия 84
Усвояемая фосфорная кислота 49
Усвояемость фосфорита 49

Фаза почвы (твердая) 395, 401, 402, 403, 404
— раздробленная 403
Фазы почвенного образования 171
— почвенной системы 171
Фактор инстабилизирующий 422, 425, 428
— стабилизирующий 422, 428
Факторы вегетации 184, 185
— микробиологические 186
— почвенные 184, 185
— внешние 14—16
Ферриалюмокремневая кислота 457, 458
Ферриалюмосиликат 457, 458, 495
Ферриалюмосиликатная кислота 457, 458
Феррисиликаты 454
Феррицианид 432, 433
Физико-химическая адсорбция 416
— поглотительная способность почв 109, 403, 415, 421, 462, 465, 469, 470, 480, 485, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 523, 542, 543
— реакция 491
— свойства почвы 201, 203, 210, 211, 224, 233, 234, 248, 258, 259
— — — зависимость их от состава поглощенных катионов 223, 225
Физико-химические процессы 401
Физико-химическое поглощение 109, 412, 506, 543
Физическая адсорбция 409, 415, 416, 419, 447
Физическая поглотительная способность 403, 409, 419, 420, 500, 501
Физические свойства почвы 43, 58, 59, 60, 61, 127—129, 395, 403, 465, 466, 547, 550, 561, 562
Физическое состояние почвенного поглощающего комплекса 508, 509, 523, 524, 526
— поглощение 409, 412, 413, 415, 419, 420, 431, 432, 434, 543
Фосфат однокальциевый 44
— трехкальциевый 44
— труднорастворимый 47
Фосфаты 10, 16, 388
Фосфорит 37—40, 43, 44, 47, 49, 90, 102
Фосфорная кислота 31, 32, 34, 35, 37, 38, 43, 48, 49, 95, 132, 373, 376, 494
— — доступная 32
— — легкорастворимая 32
— — лимоннорастворимая 36

— — почвенного раствора 7
— содержание 33, 34, 94
— уксуснорастворимая 36
Фосфорнокислое железо 10, 13
— удобрение 43
Фосфорнокислые соединения фосфорита 37, 43
Фосфорнокислый аммоний 10
— натрий 47—49
Фосфорнонатриевая соль 91, 94
Фракции почвы 426
— — механические 408, 426
Фракция глинистая 180
— илистая 139, 180
— коллоидальная 178—182, 426
— — солонцов 428
— песка 180, 181
— пыли 139, 181, 182
—носовских почв 248, 254, 255
— песка 247, 248, 254, 255
— почвы, роль в водном и воздушном режимах 247, 248
— пыли 247, 248, 254, 255

Химическая адсорбция 416
— поглотительная способность почвы 403, 404, 540—544
— реакция взаимного обмена 543
Химически связанная вода 132, 481, 483, 484
Химические реакции 400, 491, 500, 501
— свойства почвы 210, 211, 225, 233, 234, 258, 259, 403, 404, 538
— — солодей 162
— — твердой фазы 465
— средства 82
Химический валовой анализ коллоидальной фракции 483
— состав веществ 401
— — почвенного поглощающего комплекса 481
— — почвы 463, 466, 538
Химико-минералогический состав механической фракции 502
Химическое выветривание горных пород и почв 453, 462
— — земной коры 456, 457
— — материнской породы и почвы 491
— — минералов 456, 457
— поглощение 412, 543
Хлор 62—64, 66, 67, 74, 76, 78, 92, 93, 415, 473
Хлор-ион 83, 515, 516, 542
Хлорид(ы) 68, 133, 134, 141, 142, 156, 166, 413, 414, 423, 434, 447, 460, 469—472, 478, 509—511, 516, 528
— бария 124, 433
— калия 475
— кальция 123, 124, 414, 433, 444, 477, 542
— магния 444, 542
— натрия 469, 470, 475, 477, 479, 542
— оснований 450
— стронция 433
Хлористоводородная кислота 450
Хлористый алюминий 423, 451, 452, 460, 461
— аммоний 91—94, 97, 103, 363, 375, 434—441, 444—447, 449, 460, 498, 505, 539
— кадмий 460
— калий 79—81, 83, 416, 423, 451, 460, 461, 475
— кальций 38—40, 43, 68, 104, 423, 434, 441, 445, 460
— литий 423, 460
— магний 423, 434, 441, 460, 462
— натрий 38—41, 43—48, 68—72, 74, 75, 93, 94, 98, 99, 103, 414, 416, 423, 460—462, 467—471, 473—475, 504, 505, 509, 514, 531, 534, 535
— рубидий 423, 460, 461
— стронций 423

Цвет почв 174, 175
Цементирующая способность почв 508
Цеолитная кремнекислота 146
— окись натрия 76
— — почвы 33, 42, 68, 75, 76, 84, 85, 87—88, 91, 95, 100, 111, 112, 436, 462, 479, 537, 545
Цеолитное железо 104
Цеолитные катионы 436, 437
— основания (почвы) 436, 437
— — естественные 121
Цеолитообразные вещества (почвы) 75, 83—85, 95, 100, 101, 103—105
— соединения 100, 101
Цеолитоподобные соединения почвы 100, 101
Цинк 432

Частица коллоидная (коллоидальная) 421, 422, 428, 433
Частицы алюмосиликатные 403
— дисперсные 410
— илистые 406
— коллоидальных размеров 108, 117, 123, 124, 126, 139, 421, 492, 514, 519
— органические 403
— поглощающего комплекса 508
Чернозем(ы) 32, 43, 44, 47, 48, 49, 58, 59, 71, 72, 74, 102, 130, 132, 136, 149, 225—227, 236, 251, 414, 437—439, 444, 452,

454, 455, 462, 466, 476, 496, 488—490, 503, 506, 507, 509, 513, 519, 522, 529, 531, 534, 535, 538, 550, 551
— богатый гумусом 519
— выщелоченный водой с CO_2 48, 105
— деградация 225—227, 251
— насыщенный кальцием 92, 93, 112, 113, 509, 530
— — магнием 112, 113
— натрием 74, 80, 81, 84, 112—114, 116, 136, 532
— — хлористыми солями 105
— нормальный 43, 75, 132—134, 138, 182
— обыкновенный 466
— песчанистый 42, 551
— северный 126, 127, 180
— состав поглощенных катионов 209
— тучные 225—230, 249—250
Черноземная зона 126, 465
Черноземный тип почвообразования 457, 458, 465, 534—535
Чернозем(ы) деградированный(е) 112, 130
— полностью насыщенные кальцием и магнием 558
Черноземные почвы области днепровского ледникового языка 230
Черноземовидные почвы (см. почвы)
Черные солонцы 85
Четочная форма капилляров 528
Чистые солончаки (см. солончаки)

Щебенчатые почвы 429, 430
Щелочи 492, 532
Щелочная вытяжка 149, 153, 156, 157, 160, 161
— реакция 75, 85, 86, 87, 418, 425
Щелочноземельные и щелочные металлы 369, 376

Щелочноземельные карбонаты 73, 163, 167, 465
— катионы 520
— металлы 179, 426, 517, 518
Щелочность 163, 167, 168, 426, 472, 473, 478, 479
— водных вытяжек 67, 89
— вытяжки 167
— нормальная 163, 167
— общая 65—67, 69, 70, 77, 163, 167
— почвы 69
— солонца 87, 88
— среды 82
Щелочные вытяжки 51
— карбонаты 73, 163, 167, 492
— катионы 466, 520, 523
— металлы 61, 103, 104, 111, 517—519, 522
— — обработка почвы солями их 97
— почвы 38—40, 85
— солонцы 58, 60, 61, 65, 66
Щелочь 39, 40, 43, 51, 148, 149, 157, 158
— едкая 416, 417, 425

Эволюция почвы 445
— солонцов 130
— — и солонцеватых почв 225, 226
Электролитическая миграция 418
Электролитический заряд коллоидальных частиц почвы 202, 203
— — почвенных частиц 403
Электролитически нейтральные частицы коллоида 434
Электролитическая диссоциация 11, 12, 21, 22
Электролиты 10, 17, 51, 54, 59, 79, 80, 82, 84, 85, 106, 107, 140, 403, 413, 415, 420, 422, 423, 425, 428, 433, 480, 488, 497, 500, 501, 508, 532
Энергия поверхностная 403, 407, 408, 410, 414, 420
— поглощения катионов 209
— свободная 403, 420
— тепловая 201
— электролитическая 201

Ядовитые для растений вещества, содержание их в почве 240, 241, 248
Ядро алюмосиликатное (солонца) 428, 496
— частицы 486

СОДЕРЖАНИЕ

К вопросу об изменяемости концентрации почвенного раствора и содержания в почве легко растворимых соединений в зависимости от внешних условий . . 5

На каких почвах действует фосфорит. Почвы насыщенные и ненасыщенные основаниями 37

Еще о почвах, на которых действует фосфорит 46

Коллоидальная химия в вопросах почвоведения 50

I. Коллоидальные вещества в почвенном растворе. Образование соды в почве. Щелочные солонцы и солончаки 50

II. Скорость обменных реакций в почве. Коллоидальность почв, насыщенных различными основаниями, и красочный метод определения количества коллоидов в почве 89

Ультрамеханический состав почвы и зависимость его от рода катиона, находящегося в почве в поглощенном состоянии. Известкование как мера улучшения ультрамеханического состава почвы 108

Осолодение почв 130

К вопросу о почвенной структуре и сельскохозяйственном ее значении . . . 172

Почва как культурная среда для сельскохозяйственных растений 184

Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации 260

К вопросу об обменном водороде и обменном алюминии в кислых почвах . . 355

Действие перекиси водорода на почву 361

Учение о поглотительной способности почв 394

Положение вопроса о структуре почвы 558

ПРИЛОЖЕНИЯ

Жизнь и научная деятельность академика К. К. Гедройца. *А. А. Роде* . . . 569

Комментарии. *А. А. Роде* 592

Список научных трудов академика К. К. Гедройца 598

Литература о К. К. Гедройце 606

Именной указатель 609

Предметный указатель 611

Константин Каэтанович Гедройц
Избранные труды

*Утверждено к печати
Редакционной Коллегией
серии «Классики науки»*

Редактор издательства *М. Е. Анцелович*
Художественный редактор *Н. Н. Власик*
Технический редактор *В. Д. Прилепская*

Сдано в набор 20/VIII 1974 г.
Подписано к печати 30/I 1975 г.
Формат 70×90 1/16. Бумага № 2.
Усл. печ. л. 47,39. Уч.-изд. л. 49,5
Тираж 2200. Тип. зак. 1011.
Цена 3 р. 69 к.

Издательство «Наука». 103717 ГСП,
Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука». 121099,
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
257	7 св.	влияние	явление
306	4 св.	дисперности	дисперсности
593	5 св.	Bemmeien'a[1]	Bemmelen'a[1]

К. К. Гедройц



Академик
Константин Каэтанович
ГЕДРОЙЦ



К. К. Гедройц — студент Петербургского лесного института (1896 г.)



К. К. Гедройц (справа) — сотрудник сельскохозяйственной химической лаборатории — с заведующим лабораторией проф. П. С. Коссовичем (1901 г.)



Группа сотрудников сельскохозяйственной химической лаборатории. Сидят (справа налево): К. К. Гедройц, Л. Ф. Альтхаузен, П. С. Коссович, Стоят (справа налево): Н. И. Соколов, Я. Я. Витыньш, В. Г. Касаткин, А. А. Красюк



К. К. Гедройц (1927 г.)



Группа сотрудников Носовской сельскохозяйственной опытной станции. В центре, слева направо, сидят: С. П. Кулжинский, К. К. Гедройц, Ф. И. Германов (1929 г.)



К. К. Гедройц на террасе своего дома на Долгопрудной опытной станции (1932 г.)

К.К. ГЕДРОЙЦ

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ



3р-69 г.